

Universidade de Brasília – UnB
Campus Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Implementação e avaliação de uma palmilha de látex com sistema de sensores para investigação da distribuição de pressão plantar em indivíduos autistas

MILENY XIMENES e GUILHERME PERON

Orientadora: Dr^a SUÉLIA RODRIGUES DE FLEURY ROSA

Coorientador: Dr. CRISTIANO JACQUES MIOSSO



MILENY XIMENES e GUILHERME PERON

Implementação e avaliação de uma palmilha de látex com sistema de sensores para investigação da distribuição de pressão plantar em indivíduos autistas

Monografia submetida ao curso de graduação em
Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília,
como requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Dr^a Suélia Rodrigues de Fleury Rosa
Coorientador: Dr. Cristiano Jacques Miosso

Brasília, DF
2013

Brasília/DF, Julho de 2013

FICHA CATALOGráfICA

XIMENES, MILENY E PERON, GUILHERME

Implementação e avaliação de uma palmilha de látex com sistema de sensores para investigação da distribuição de pressão plantar em indivíduos autistas

83p., 210 × 297 mm (FGA/UnB Gama, Engenharia Eletrônica, 2013)

Trabalho de graduação em engenharia eletrônica

Universidade de Brasília, Campus Gama – FGA/UnB

1. Sensores de variáveis fisiológicas

2. Instrumentação eletrônica

3. Pressão plantar

4. Autismo

I. FGA UnB/UnB.

II. Título (série)

REFERÊNCIA

XIMENES, MILENY E PERON, GUILHERME (2013). Implementação e avaliação de uma palmilha de látex com sistema de sensores para investigação da distribuição de pressão plantar em indivíduos autistas. Dissertação de graduação em engenharia eletrônica, Universidade de Brasília, Campus Gama, DF, 83p.

*Dedicamos esse trabalho a nós mesmos,
aos familiares e amigos que nos apoiaram durante
as horas dedicadas a este projeto e aos nossos orientadores,
Profa. Dra. Suélia S.R.F. Rosa e Prof. Dr. Cristiano Jacques Miosso.*

Agradecimentos

Agradecemos a todas as pessoas que direta e indiretamente colaboraram com a execução deste trabalho. Entre estes, destacamos primeiramente nossos orientadores, Professora Dra. Suélia S.R.F. Rosa e Professor Dr. Cristiano Jacques Miosso, que em todas as etapas do projeto estiveram sempre presentes e nos apoiando; à psicopedagoga responsável pela clínica Aprender, Maria de Lourdes Dias Rodrigues, bem como à toda a equipe que com ela trabalha, que nos apoiaram; aos pais das crianças autistas e não-autistas, que se dispuseram a colaborar com a pesquisa; aos colegas de trabalho, dos quais podemos citar o Natan Ossami, o Fernando, o Felipe Emídio e o Inasawa; aos nossos pais, familiares e amigos por toda a paciência durante esse período; e sobretudo a Deus, por todas as coisas.

Se pude ver mais longe, foi por estar de pé sobre o ombro de gigantes.

Isaac Newton

Resumo

Diversas pesquisas têm demonstrado que a marcha varia de pessoa para pessoa e esta influi diretamente na qualidade de vida do indivíduo. Crianças com autismo, devido às dificuldades inerentes ao transtorno, não relatam de maneira adequada sintomas de uma possível pisada incorreta, como dores e dificuldades de locomoção. Dessa forma, o presente trabalho propõe um sistema para avaliar as distribuições de pressão plantar em crianças autistas, em comparação a crianças não-autistas. Para a coleta dos dados foi desenvolvida uma palmilha personalizada, utilizando alginato, gesso rosa e látex, bem como um *hardware* e *software* específicos para aquisição dos dados obtidos durante a caminhada. Os testes foram realizados em crianças autistas e não-autistas com idade variando de 4 a 13 anos, sendo as autistas pacientes de uma clínica especializada em tratamento e acompanhamento de crianças autistas. Os resultados mostraram que é possível observar e quantificar a variação da pressão plantar em cada indivíduo, bem como diferenças nas distribuições de pressão. Estudos futuros com amostras maiores podem avaliar as hipóteses sugeridas de diferenças nas energias e nas distribuições de pressões plantares. Portanto, a utilização da palmilha com sensores de pressão plantar pode vir a auxiliar na identificação de padrões ou patologias observadas durante a marcha.

Palavras-chaves: Palmilha de Látex. Autismo. Distribuição de Pressão Plantar.

Abstract

Several researches have shown that gait varies from person to person and this directly influences the quality of life of the individual. Children with autism, given the inherent difficulties of the disorder, do not report properly the symptoms of a possible incorrect gait or feet positioning during walk, such as pain and locomotion difficulties. Thus, the present work develops a system to evaluate plantar pressure distributions in autistic children, as compared to non-autistic children. To collect the data we developed a custom insole using alginate, pink plaster and latex, as well as specific hardware and software for data acquisition during walking. The tests were performed in autistic children and non-autistic children, aged from 4 to 13 years, in a clinic specializing in the treatment and monitoring of autistic children. The results show that it is possible to observe and quantify the variation of pressure in each individual, and further studies are necessary to statistically assess the confiability of the differences between them. Therefore, the use of the insole with pressure sensors can be useful in the identification of patterns and pathologies observed during gait.

Keywords: Latex Insole. Autism. Plantar Pressure Distribution.

SUMÁRIO

Sumário	9
1 Introdução	11
1.1 Contextualização e Problematização	11
1.2 Objetivos	18
1.3 Justificativa	18
1.4 Estrutura da Dissertação	19
2 Fundamentação e Metodologia	21
2.1 Descrição geral	21
2.2 Confeção da Palmilha em Látex	22
2.3 Descrição e configuração dos sensores de pressão.	28
2.3.1 O sensor de pressão FlexiForce®	28
2.3.2 Posicionamento dos sensores na palmilha	28
2.4 Desenvolvimento do circuito de aquisição	30
2.4.1 Divisor de Tensão	30
2.4.2 <i>Buffer</i> de Acoplamento	31
2.4.3 Microcontrolador utilizado - Msp430f2274	31
2.4.4 Circuito Completo e PCB	32
2.5 Desenvolvimento do <i>software</i> de aquisição e análise de dados . .	36
2.5.1 End Device (ED)	36
2.5.2 Watchdog Timer	36
2.5.3 Funções principais	36
2.5.4 Access Point (AP)	37

2.5.5	Programa para coleta dos sinais no pc a partir da comunicação sem fio	38
2.6	Protocolo experimental	39
2.6.1	Local para realização da pesquisa	39
2.6.2	Alocação dos Participantes	39
2.6.3	Processo de coleta e fabricação dos moldes	39
2.6.4	Processo de produção das palmilhas	40
2.6.5	Instalação dos sensores	41
2.6.6	Realização da intervenção com as crianças	42
3	Resultados e Discussões	45
3.1	Energias Médias	45
3.2	Representação Temporal da Caminhada	49
3.3	Relação entre sensores	56
4	Conclusão	61
	Referências	65
A	Descrição do projeto submetida ao comitê de ética	69
B	Termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE	81

INTRODUÇÃO

Estudos significativos tem demonstrado que a marcha varia de pessoa para pessoa e esta influi diretamente na qualidade de vida do indivíduo. Crianças com autismo, devido às dificuldades inerentes do transtorno, não relatam de maneira adequada sintomas de uma possível pisada incorreta, como dores. Dessa forma, esse trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta que propõe auxiliar na identificação dessas alterações na pisada de crianças autistas, por meio da coleta e avaliação da distribuição da pressão plantar destas em comparação com a de crianças não-autistas. Trata-se de uma palmilha personalizada de látex, com sensores estrategicamente posicionados, de forma a coletar o sinal de interesse, possibilitando a análise posterior por parte dos pesquisadores.

1.1 Contextualização e Problematização

O autismo, conforme definido por [7] e [16], é uma síndrome de comportamento com diversas causas propostas, onde o processo de desenvolvimento da criança afetada encontra-se totalmente alterado. Este é um distúrbio congênito identificado dos primeiros meses de vida da criança até os 3 anos. As causas são desconhecidas, porém pode estar associado a fatores genéticos, sendo predominante em meninos, da ordem de 1 para 4, em relação a meninas, apesar

de afetar mais severamente as meninas. Durante algum tempo, quando do início das pesquisas, o autismo era chamado e tratado como esquizofrenia infantil, termo que deixou de ser utilizado. O autismo é caracterizado classicamente pelo que é conhecido como tríade autista, como observado por Kanner [8], a saber:

- a.** Prejuízo qualitativo na interação social;
- b.** Prejuízo qualitativo na comunicação verbal e não-verbal, e no brinquedo imaginativo;
- c.** Comportamento e interesses restritivos e repetitivos.

No entanto, dentre essa tríade, o fator predominante e determinístico do autismo é o prejuízo qualitativo na interação social. Nesse ponto, é possível notar a falta de sensibilidade dessas crianças a demonstrações de afeto por parte dos pais, familiares ou amigos, sendo indiferentes até mesmo a intervenções significativas, como carícias. São ainda indiferentes a palavras ou sons emitidos por pessoas ao seu redor, podendo, porém, ser facilmente atraídas por sons externos, como de um carro passando na rua, ou de um inseto a voar. Em contrapartida, a criança parece fascinada por objetivos que pouco ou nada interessam a outras crianças ou mesmo a adultos. Preocupa-se em excesso com a organização do ambiente, de forma que esse nunca seja alterado, bem como com a rotina que ele possui. Quaisquer pequenas mudanças em sua rotina implicam em alterações drásticas de humor, ataques de comportamento e até mesmo isolamento, de forma que a nova atividade não é aceita e cumprida, com o objetivo de sempre voltar à rotina anterior. Se, por exemplo, a criança tem o costume de assistir a determinado programa de TV às 20 horas e por algum motivo não pode assisti-lo, isso se torna um grande problema para ele e, conseqüentemente, para seus familiares. Ainda, algumas crianças apresentam a facilidade e o costume de decorar e repetir frases que pouco fazem sentido fora de um contexto, além de dificilmente entenderem figuras de linguagem, tomando as frases sempre como literais, fato que, a princípio, os faz serem taxados de ingênuos por alguns, ou até mesmo sínicos.

Segundo o Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (DSM) [3],

As características essenciais do Transtorno Autista são a presença de um desenvolvimento acentuadamente anormal ou prejudicado na interação social e comunicação e um repertório marcadamente restrito de atividades e interesses. As manifestações do transtorno variam imensamente, dependendo do nível de desenvolvimento e idade cronológica do indivíduo.

Ainda, para o diagnóstico do autismo, os especialistas utilizam o procedimento listado no mesmo DSM - IV, que apresenta os sintomas predominantes. Entre eles está o prejuízo acentuado no uso múltiplo de comportamentos não-verbais, como postura corporal e gestos, o que claramente indica que causa prejuízos no modo de pisar e, conseqüentemente, andar, aplicando pressão indevida na planta do pé; falta de tentativa espontânea em compartilhar prazer e interesses com outras pessoas, o que interfere na demonstração e comunicação do que está sentindo no momento, como por exemplo, dores; além da preocupação anormal em intensidade ou foco em seguir uma rotina.

Um dos maiores desafios para se identificar o autismo está na ampla gama de espectros autistas que existe, variando de indivíduos levemente afetados até indivíduos muito afetados. Nesse ponto, surgem variações, sendo a mais conhecida delas o Transtorno de Asperger.

Segundo o DSM - IV, as características desse transtorno são o prejuízo severo na interação social e o desenvolvimento de padrões repetitivos de comportamento. Porém, em contraste com o autismo propriamente dito, o Transtorno de Asperger não causa prejuízo significativo na linguagem, ou seja, o indivíduo é capaz de pronunciar corretamente palavras e frases, apesar de não fazer isso de forma adequada, evitando tomar a iniciativa em iniciar conversas e relações, o que dificulta as relações sociais da mesma maneira que o autismo.

Pode-se notar, portanto, que independentemente do tipo de autismo ou do nível do mesmo, o indivíduo tem problemas com a coordenação motora, muitas vezes fazendo movimentos repetitivos incansavelmente. Além disso, a comunicação e a reação à dor e a estímulos é também afetada. Dessa forma, é relatado que as crianças autistas possuem padrões diferenciados de pisada, sendo vezes forte demais (autismo clássico) e vezes leve demais (Asperger), fazendo com

que haja prejuízo na locomoção e no desenvolvimento correto dos membros inferiores da criança. Além disso, por não se comunicarem adequadamente, os mesmos não tem condições de expressar dores ou desconfortos devido ao seu modo de andar.

O pé humano recebe constantemente a ação de forças, graças às suas características, proporcionando ao corpo humano uma base estável que confere, de forma eficiente, não só o suporte e equilíbrio numa fase de apoio, mas também uma estabilidade adequada durante o processo da marcha [10] [15][20] [1][12][5].

A marcha é caracterizada como a maneira ou padrão que diferencia dois indivíduos. Durante uma marcha normal alguns fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo a idade e o peso do indivíduo. A marcha possui algumas fases, a primeira denominada fase de apoio, que é caracterizado quando o pé está em contato com o solo, entretanto, o tronco se encontra a frente do membro. Existe ainda a fase de balanço caracterizada quando ocorre o avanço do membro[18]. Ainda nessas fases se encontram os períodos da marcha. Os primeiros períodos acontecem na fase de apoio e são caracterizados por:

- Contato Inicial: Período de carregamento ou aceitação da massa do corpo sob o membro que está sustentando;
- Resposta a Carga e Apoio Médio: Consiste no suporte único ou apoio sobre um membro inferior;
- Apoio Terminal e Pré-Balanço: Constitui o período de transferência do peso para o outro membro.

Durante a fase de balanço são destacados os períodos de:

- Balanço Inicial ou Aceleração: Inicia-se com a flexão do joelho e com a elevação do pé do chão;
- Balanço médio: Ocorre quando as pernas ficam paralelas entre si, entretanto apenas uma sustenta o corpo;

- Desaceleração: O membro reduz a velocidade para realização do contato do mesmo com o chão.

À medida que o tempo passa, forças de contato alteram a forma como é distribuída a pressão na superfície plantar do pé. Tais alterações podem provocar deformações plantares ou patologias que conseqüentemente levam a problemas de saúde. [1][12][10]. Na literatura é possível encontrar estudos abordando a relação entre as alterações da cinemática dos pés e as forças plantares, em diferentes aspectos e para públicos diferenciados [14].

Nesse contexto, pesquisas a respeito da distribuição plantar tornaram-se alvo de constantes investigações nas mais diversas áreas, principalmente na área da saúde [9]. Desta forma, estudos que envolvem a pressão plantar se destacam nos seguintes aspectos:

I - Permitem, além do estudo de doenças e deformidades plantares, a verificação da influência de determinados tratamentos ou cirurgias; por exemplo, através de um estudo comparativo sobre qual a contribuição da disfunção muscular dos membros inferiores na alteração da distribuição da pressão plantar e conseqüente ulceração do pé em pacientes diabéticos [2].

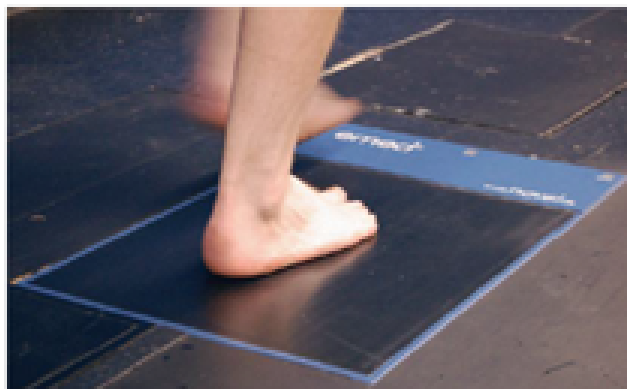
II - Possibilitam, para valores de pressão plantar atípicos, a criação e análise de soluções que melhorem a distribuição da pressão plantar por parte do paciente [11].

III - Admitem a realização de uma sequência de comparações entre indivíduos saudáveis e um grupo de controle. A literatura fornece dados de estudos realizados e comparações feitas entre grupos de adultos e grupos de idosos, feita por [4]; entre homens e mulheres, executada por [13], dentre outras comparações.

Pensando nestes dois fatores: o prejuízo motor dos indivíduos autistas e a dificuldade de comunicação apresentada por estes, este trabalho se destina a realizar uma sequência de comparações entre uma amostra de crianças saudáveis e uma de crianças com um quadro clínico de autismo definido. Este grupo de indivíduos foi selecionado pela ausência de estudos que deem destaque às características físicas de crianças autistas.

Atualmente já existem algumas tecnologias para medição da pressão plantar em indivíduos. Essas tecnologias podem ser enquadradas em dois tipos específicos: Sistemas de Plataforma e Sistemas acoplados nos pés (*in shoe*).

Dos sistemas de plataforma, pode-se destacar dois mais conhecidos, que são o emed e o zebris, conforme mostra a Figura 1.1.



(a)



(b)

Figura 1.1. Plataformas baseadas no sensor (a) emed, do fabricante Novel; (b) Zebris, do fabricante Medical GmbH.

Já os sistemas *in-shoe* são sistemas utilizados dentro dos sapatos, como palmilhas, onde os circuitos eletrônicos são posicionados na região do tornozelo. A figura 1.2 apresenta duas dessa tecnologia.

A grande vantagem dos sistemas *in-shoe* em relação aos sistemas de plataforma, é que este pode ser utilizado fora de uma clínica ou laboratório, sendo também um sistema mais barato. Além disso, as plataformas fazem a leitura dos sinais apenas dentro de suas dimensões, limitando assim a caminhada do paciente ao tamanho do equipamento.



(a)



(b)

Figura 1.2. *In-shoe* baseados no sensor (a) Pedar, do fabricante Novel; (b) F-Scan, do fabricante Tekscan.

A proposta do projeto consiste na confecção e validação de uma palmilha de látex individualizada e personalizada para os grupos definidos anteriormente, podendo, dessa forma, colaborar na observação de anormalidades na pisada dessas crianças. Existem algumas técnicas para captura dos sinais obtidos na palmilha escolhida. Segundo [6], a mesma tem por base a utilização de sensores de forma isolada, permitindo uma medição de pressão local, ou em grupo sob a forma de matriz. Esta medição tem como vantagens ser de fácil uso e possuir um custo de aquisição reduzido mesmo para uma frequência de amostragem elevada, devido ao número de sensores utilizado ser pequeno [19]. Para tanto, deve ser elaborado um sistema de aquisição microcontrolado capaz de armazenar os dados lidos por sensores presentes em pontos importantes da palmilha.

O transdutor utilizado será o Flexiforce®, capaz de variar sua resistência à medida que lhe é aplicada uma força.

1.2 Objetivos

São objetivos deste trabalho:

- Desenvolver e validar um método para fabricação do modelo do pé e da palmilha individualizada que comportará os sensores de pressão.
- Construir moldes em gesso com densidade suficiente para aplicação do látex sem perdas significativas de material.
- Confeccionar as palmilhas utilizando látex líquido e posteriormente vulcanizado.
- Avaliar o uso do sensor FlexiForce® junto à palmilha para aquisição dos sinais de pressão plantar.
- Testar e calibrar os sensores, de forma a utilizá-los para medição da pressão plantar nas crianças, evitando a saturação dos sinais adquiridos.
- Desenvolver e avaliar o *hardware* e o *software* para coleta adequada dos sinais.
- Coletar o modelo dos pés dos indivíduos autistas e não-autistas.
- Coletar os sinais de pressão plantar de indivíduos autistas e não-autistas.
- Realizar a comparação entre os sinais das crianças autistas e não - autistas.
- Realizar a comparação entre os sinais obtidos por cada um dos sensores em cada criança.

1.3 Justificativa

Conforme já mencionado, os estudos envolvendo o autismo são bastante restritos, e um tanto deficientes, até mesmo pelas dificuldades impostas pelo pró-

prio transtorno, como o fato de existir um espectro autista e não um diagnóstico exato e único. Dessa forma, essa pesquisa é proposta também como mais uma das poucas referências a esse assunto, principalmente no Brasil, podendo ajudar os especialistas no desempenho de suas funções e no estudo de tal transtorno, até mesmo incentivando outros pesquisadores a focarem nesse grupo.

1.4 Estrutura da Dissertação

As próximas seções apresentam a metodologia de confecção da palmilha de látex individualizada, bem como o *hardware* para aquisição dos sinais de pressão plantar e o *software* utilizado como interface de leitura e apresentação do sinal na tela do computador. Além disso, são apresentados os resultados adquiridos durante os testes com as crianças e as análises destes resultados. Por fim, são feitas sugestões para trabalhos futuros.

Segue, mais detalhadamente, a estrutura dos próximos capítulos.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação do trabalho e a metodologia desenvolvida. Detalha o protocolo criado para construção do modelo do pé das crianças, utilizando alginato e gesso rosa, para posteriormente ser confeccionada a palmilha em látex. Ainda, detalha-se a confecção da palmilha, apresentando o procedimento para manuseio adequado do látex e sua vulcanização. Em seguida, são apresentados o *hardware* e o *software* utilizados, o que inclui o sensor Flexiforce®, o esquemático do circuito e o negativo para confecção da PCB. Por fim, apresenta-se o procedimento para coleta dos modelos e para os testes nas crianças, tanto autistas como não-autistas.

Em seguida, o Capítulo 3 apresenta os resultados obtidos, já trabalhados utilizando o programa MATLAB, por meio de uma animação em que os sensores estão representados num modelo de pé, apresentando as variações obtidas com o decorrer do caminhar. São apresentados depois os gráficos da tensão adquiridos pela placa com o decorrer da caminhada, em função do tempo. É realizado o gráfico da tensão, devido ao divisor de tensão, que é explicado na seção metodologia. Além disso, são apresentadas tabelas comparativas entre os sensores presentes em uma mesma palmilha e entre os indivíduos, tanto autistas como

não-autistas.

Finalmente, o Capítulo 4 apresenta um desfecho do trabalho, com a conclusão das análises realizadas e sugestões para pesquisas futuras.

FUNDAMENTAÇÃO E METODOLOGIA

A partir de toda a base teórica obtida, iniciou-se o processo de construção da palmilha em látex, além do desenvolvimento do *hardware* e do *software*, de acordo com as necessidades de sensoreamento para o estudo em questão.

Nas próximas seções é apresentado em detalhes o processo de construção da palmilha, do *hardware* e do *software*, juntamente com a fundamentação teórica necessária. São detalhados ainda os procedimentos de coleta dos moldes e dos sinais de pressão plantar das crianças, tanto autistas como não-autistas.

2.1 Descrição geral

A pesquisa consiste na coleta e análise da pressão plantar em indivíduos autistas e não-autistas, com a ajuda de sensores que serão colocados numa palmilha personalizada, confeccionada em látex, pois trata-se de um material inerte e biocompatível quando vulcanizado, características que conferem ao material a capacidade de permanecer com o mesmo formato e composição química durante o seu uso, além de não acarretar alergias com o contato da pele.

A palmilha foi contruída a partir de um molde feito com alginato e gesso rosa. Após a construção da palmilha, os sensores são nela acoplados e o indivíduo caminha normalmente com a palmilha no pé, de forma a medir os sinais da pressão plantar em 8 pontos diferentes. A coleta dos sinais foi feita a partir

de um *hardware* e *software* específicos que foram desenvolvidos pela equipe. O *software* é utilizado para plotar a curva da pressão plantar em função do tempo no computador, tornando viável que se realize estudos mais aprofundados desses sinais, medidas essas, como já explicitado, coletadas em 8 pontos específicos do pé.

O estudo foi realizado em dois grupos distintos: um grupo com crianças autistas, com idade entre 4 e 13 anos e um grupo controle, com crianças não-autistas, também na faixa etária já citada.

As crianças autistas foram testadas na clínica Aprender, localizada na cidade de Taguatinga, especializada no atendimento a crianças com autismo. A clínica conta com a psicopedagoga Maria de Lourdes Dias Rodrigues, que cooperou com a pesquisa, e selecionou as crianças que colaborariam melhor durante a coleta, principalmente em se tratando do contato físico com o alginato. Ela também teve papel fundamental por mediar o contato entre os pesquisadores e as crianças, possibilitando e facilitando a coleta dos moldes e realização dos testes. Assim, para ter sucesso, a pesquisa deve seguir o seguinte procedimento:

1. Coleta do molde com alginato;
2. Retirada do positivo do molde com o gesso rosa;
3. Confeção da palmilha a partir do molde feito em gesso rosa;
4. Inserção dos sensores na palmilha;
5. Coleta dos sinais a partir da caminhada das crianças;
6. Análise dos sinais de pressão plantar.

2.2 Confeção da Palmilha em Látex

O processo de fabricação da palmilha inicia-se na moldagem do pé do indivíduo. Para a moldagem, dois materiais são essenciais: o alginato e o gesso rosa. Ambos os materiais são muito conhecidos e amplamente utilizados na odontologia para a moldagem da arcada dentária para confecção de próteses dentárias

ou aparelhos dentários. O alginato é um pó que misturado com a água se torna uma massa de secagem rápida, que guarda com perfeição qualquer forma a que for submetido. No entanto, para que seja possível tirar o molde de forma adequada, é necessário fazer a mistura na proporção correta de pó e água. Além do mais, para facilitar a mistura, devido à grande quantidade de pó utilizada, é recomendável fazer uso de uma batedeira. Foram utilizados aproximadamente 200 ml de água e 300 g de alginato.

Primeiramente, mede-se a quantidade de pó e despeja numa vasilha específica, que serve como forma para se colocar o pé. Em seguida, mede-se a água e mistura com o pó. Com isso, mistura-se rapidamente com a batedeira até obter uma massa homogênea, de coloração rosada. Essa massa é espalhada uniformemente na vasilha e a criança sentada é orientada a colocar o pé dentro da massa, o mais centralizado possível, evitando colocar muita força para que não alcance o fundo da vasilha, o que acabaria interferindo no formato natural do pé. O pé da criança deve ficar dentro da massa até essa secar, o que é indicado pela mudança para a cor branca, o que leva até 3 minutos. Após isso, com a ajuda dos pesquisadores, a criança retira o pé, que estará total e fielmente reproduzido na massa, conforme apresentado na Figura 2.1.



Figura 2.1. Molde elaborado com o auxílio de alginato.

Após esse processo, de retirada do negativo do pé, passa-se para a constru-

ção do molde propriamente dito, com o gesso rosa. Para a preparação desse, mostrou-se melhor obter uma mistura mais espessa, ou seja, menos líquida, facilitando a secagem e possibilitando a reutilização do molde de alginato, se necessário. Após a mistura da quantidade adequada, despeja-se o líquido dentro do negativo feito com o alginato, de forma uniforme, cobrindo todo o molde, deixando secar por aproximadamente 20 minutos, o resultado é apresentado na Figura 2.2.



Figura 2.2. Molde em alginato preenchido com o gesso odontológico rosa.

Depois de seco, retira-se a peça em gesso com cuidado, para não danificar a peça nem o negativo de alginato, e, se necessário, passa-se uma lixa d'água fina para retirar possíveis elevações que existam e possam atrapalhar a confecção da palmilha. Após isso, o molde está pronto, conforme mostrado na Figura 2.3.

Com o molde pronto, passa-se à confecção da palmilha em látex. Para isso, é utilizado o látex pré - vulcanizado da marca ki-latex que pode ser obtido no site da marca. O látex puro é colocado em um recipiente, onde o molde de gesso será imerso. Após a imersão parcial, ou seja, só é inserida a parte inferior do molde, este é retirado, deixando escorrer o excesso. As bolhas são retiradas e o molde com o látex líquido é levado para a estufa ligada a uma temperatura de aproximadamente 80°C e deixado lá por cerca de 10 minutos, a Figura 2.4 apresenta a estufa com alguns moldes em processo de fabricação.



(a)



(b)

Figura 2.3. Réplicas em gesso prontas para a aplicação do látex e moldadas para os pés de dois participantes (a) não-autistas e de dois (b) autistas.

Passado o tempo necessário, confere-se se o látex está seco, o que é indicado pela não aderência deste com a mão. Em caso positivo, retira-se o molde da estufa, deixando esfriar por aproximadamente 10 minutos. Em seguida, o molde



Figura 2.4. Moldes de látex em processo de confecção dentro da estufa a uma temperatura de 80°C.

é submerso novamente em látex, seguindo o mesmo processo do primeiro. No total, são realizados 5 banhos. Em seguida, a palmilha é retirada, tomando cuidado para não rasgá-la. A Figura 2.5 demonstra uma palmilha pronta para a distribuição dos sensores.

No entanto, após a retirada da palmilha, é necessária uma camada de talco para evitar que as extremidades da palmilha grudem umas nas outras.

Para a proteção dos sensores é necessária uma camada extra de látex, confeccionada com o próprio molde de gesso. Essa camada é produzida seguindo o mesmo processo de construção da palmilha, no entanto, com apenas 2 banhos. Assim, os sensores são distribuídos na palmilha e por cima deles, é disposta essa segunda camada em látex, para que a criança não pise diretamente nos sensores, evitando possíveis danos causados pelo suor, sujeiras, entre outras coisas. Depois de distribuídos, os sensores são devidamente identificados,



(a)



(b)

Figura 2.5. Palmilha finalizada ao lado do molde em gesso que a gerou. (a) vista inferior e (b) vista superior da palmilha

para que não haja confusão durante a aquisição dos sinais de pressão plantar.

Os sensores são conectados ao circuito de aquisição do sistema, que realiza um tratamento do sinal recebido e envia para a unidade de processamento, que no sistema em questão é um computador.

2.3 Descrição e configuração dos sensores de pressão.

2.3.1 O sensor de pressão FlexiForce®

Foram empregados sensores de força FlexiForce®, modelo HT 201, do fabricante Tekscan. O sensor é caracterizado por sua flexibilidade e estrutura fina, portanto, permite que a dinâmica do experimento seja preservada sem a utilização de uma estrutura invasiva.

O sensor é baseado na variação de sua resistência à medida que uma força é aplicada sobre sua região sensível. Portanto, funciona como um resistor variável que reduz sua resistência a medida que a carga aplicada aumenta.

O mesmo apresenta uma sobreposição de camadas, a primeira consiste em uma camada de substrato compostos de um filme de poliéster. Em seguida está presente uma camada de prata, que funciona como material condutivo. Apresenta também uma camada de tinta sensível à pressão e para manter a fixação das camadas existe uma fita adesiva. Essa mesma composição de camadas se repete, de forma que dentro do dispositivo estão presentes duas de cada uma das camadas listadas.

A Figura 2.6 apresenta a sobreposição das camadas existentes do componente. A prata presente no sistema é caracterizada como o elemento condutor do sensor, fica em contato direto com o elemento sensível do componente e se estende até os conectores do componente, formando uma trilha condutiva.

O sensor apresenta 3 pinos de saída, entretanto apenas os das extremidades são utilizados para leitura da resistência. Apresenta 197 mm de comprimento e 14 mm de largura. Ele apresenta uma área sensível com diâmetro de 9,53 mm sendo possível a aplicação de forças que vão de 0 a 445 N.

2.3.2 Posicionamento dos sensores na palmilha

Na palmilha, os sensores foram fixados com fita isolante para garantir que não ocorra deslocamento deles durante os testes. Foram distribuídos 8 sensores ao longo da palmilha conforme apresenta a Figura 2.7.

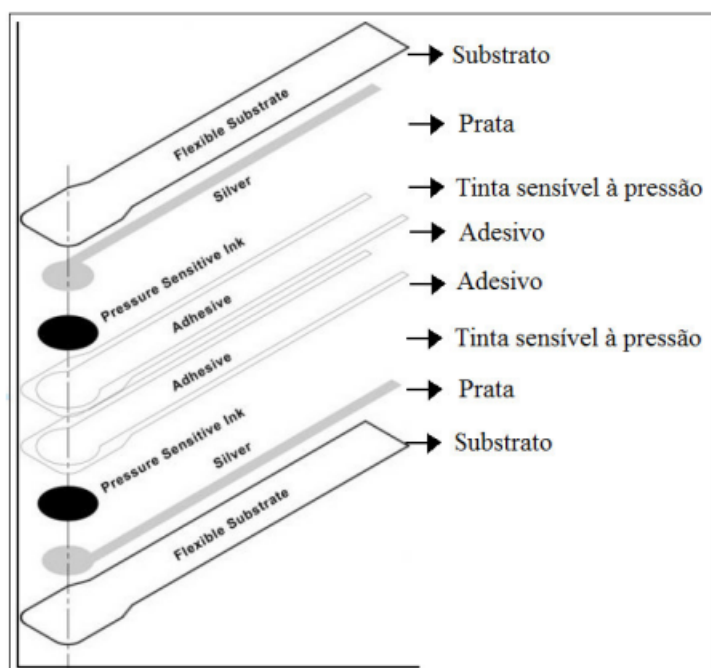


Figura 2.6. Sobreposição de camadas do componente sensível do circuito - Sensor Flexi-Force®.

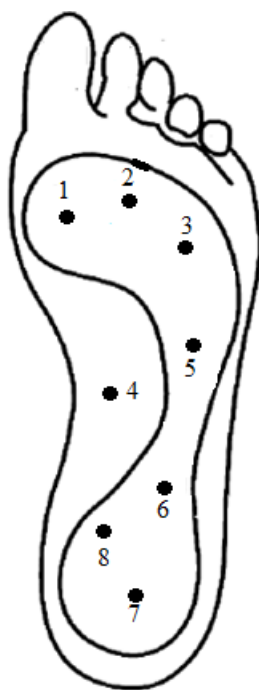


Figura 2.7. Distribuição dos sensores na palmilha.

Os pontos de 1 a 3 pertencem ao salto do pé, 4 e 5 ao médio pé e de 6 a 8 ao metatarso. Tais regiões, com exceção do ponto 4, foram escolhidas por suportarem a maior parte do peso do corpo, portanto a distribuição dos sensores

segundo esse leiaute permite a identificação da pressão plantar nos pontos de maior aplicação de força [17]. O ponto 4 permite identificar se o pé estudado é caracterizado como um pé plano, onde toda a sola do pé entra em contato com o chão.

A ausência de sensores nos dedos ocorre devido a dificuldade de dispor os mesmos nestes locais, tendo em vista a área reduzida nesses pontos. Entretanto os dedos são de grande importância para o reconhecimento das fases da marcha.

2.4 Desenvolvimento do circuito de aquisição

Para incorporar o resultado ofertado pelo sensor, é necessário converter a força aplicada para uma unidade de medida elétrica, a tensão. Tal conversão é feita por meio de um circuito de aquisição que utiliza da variação da resistência do sensor para gerar uma tensão equivalente a força aplicada. O esquemático elétrico do circuito implementado é apresentado na Figura 2.8.

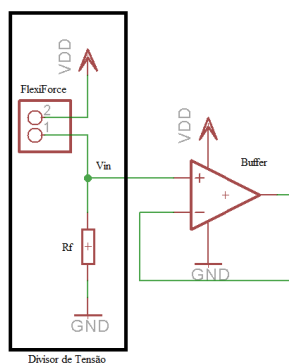


Figura 2.8. Divisor de tensão elaborado para aquisição do sinal coletado das pisadas.

2.4.1 Divisor de Tensão

O divisor de tensão presente do circuito de aquisição é responsável por delimitar a tensão na entrada do microcontrolador. Conforme apresentado no esquemático, um dos terminais do sensor é alimentado com uma tensão V_{DD} de 3 volts. A resistência fixa do circuito (R_f) é de $33k\Omega$. Portanto, a tensão V_{in} é dada por

$$V_{in} = \frac{R_f}{R_f + R_{FlexiForce\tilde{o}}} \times V_{DD} \quad (2.1)$$

A expressão mostra que a medida que a resistência do sensor é reduzida a tensão V_{in} cresce. Portanto para controle do sistema, a resistência R_f foi escolhida para manter a tensão V_{in} entre 0 e 1,8 V.

2.4.2 Buffer de Acoplamento

Conhecido também como amplificador reforçador, o *buffer* de acoplamento tem a função de isolar o estágio anterior do futuro, em especial isolar o circuito de aquisição dos sinais de pressão do microcontrolador. Idealmente um *buffer* deve ter uma elevada impedância de entrada com a finalidade de garantir um efeito leve do primeiro estágio, assim toda a tensão V_{in} se apresenta na entrada do reforçador. Outra característica dessa configuração é sua baixa impedância de saída que garante o acoplamento de cargas pesadas. A Figura 2.9 apresenta um esquemático simplificado do funcionamento do *buffer*, sendo o estágio A equivalente ao circuito de captura e o B ao microcontrolador.



Figura 2.9. Representação do isolamento dos estágios A e B, feito pelo *buffer*

2.4.3 Microcontrolador utilizado - Msp430f2274

O microcontrolador escolhido foi o Msp430f2274 (rf2500) fabricado pela *Texas Instruments*. Ele é o responsável por coletar os dados da pesquisa. Apresenta uma gravadora USB, e dois módulos para transmissão dos dados. Sendo um utilizado para envio das informações coletadas e o outro como receptor, este último acoplado à gravadora USB.

A Figura 2.10 apresenta o esquemático do microcontrolador que faz parte do

sistema responsável por adquirir os dados e enviar sem fio os mesmos. Nela são apresentadas também as portas de entrada do sistema.

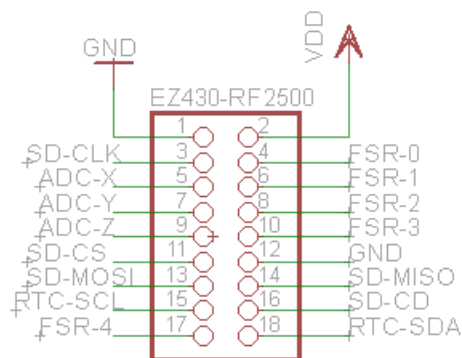


Figura 2.10. Representação do microcontrolador Msp430f2274, nele são listados os pinos equivalentes as saídas do circuito de aquisição, bem como os pinos necessários para a comunicação com o cartão SD.

2.4.4 Circuito Completo e PCB

A Figura 2.11 apresenta o circuito completo, incluindo componentes necessários para a gravação dos dados obtidos em um cartão de memória, bloco não utilizado durante os testes realizados.

A seguir são listados os componentes utilizados no circuito:

- 01 Msp430f2274;
- 01 LM324;
- 01 LM358;
- 01 78L33;
- 02 Resistores de 4,7 K Ω - Utilizado pelo RTC, para resistor de Pull Up;
- 05 Resistores de 33 K Ω ;
- 01 Bateria de 9 V.
- Conectores Fêmea.

O circuito é capaz de adquirir o sinal gerado por cinco sensores de força, além de permitir o armazenamento dos dados processados pelo microcontrolador em um cartão SD. Entretanto, neste trabalho as saídas do circuito são conectadas ao microcontrolador que envia os dados ao computador por *wireless*.

A esquerda da Figura 2.11 estão os cinco divisores de tensão, nos quais estão associados os sensores que a placa elaborada suporta. Entretanto, o CI LM324 apresenta apenas quatro amplificadores operacionais. Assim, para aquisição do quinto canal, é inserido o CI LM358, que disponibiliza mais dois amplificadores, sendo que apenas um destes é utilizado. O sistema apresenta ainda um regulador de tensão de 3,3V na saída, tensão suficiente para alimentação do sistema proposto.

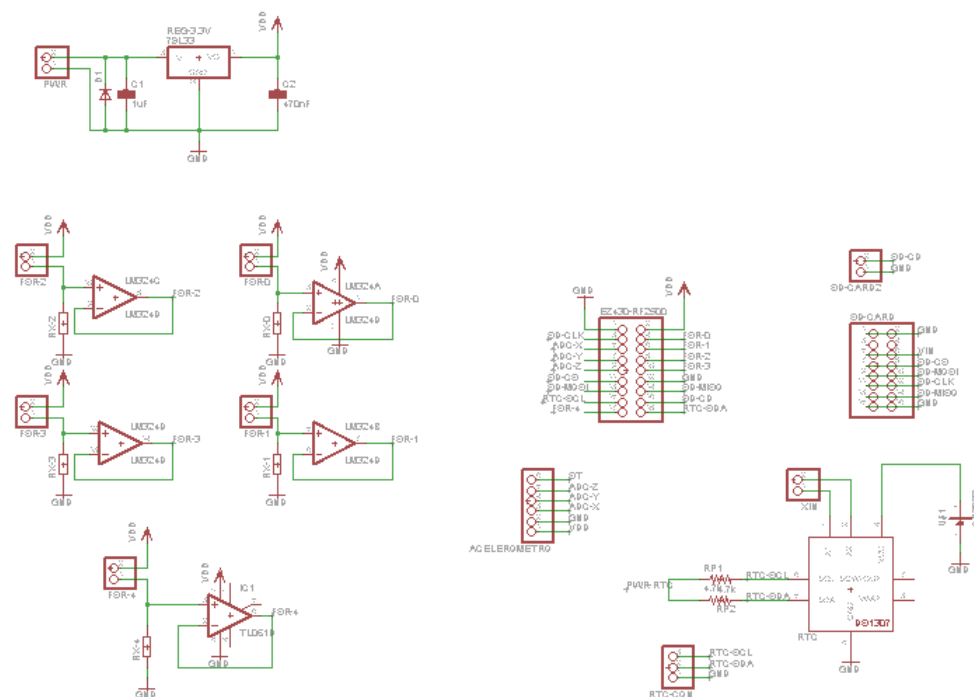


Figura 2.11. Circuito completo utilizado para aquisição dos sinais de pressão plantar.

A placa de circuito impresso confeccionada foi elaborada no *software* Eagle 6.4.0, desenvolvido pela CadSoft. Inicialmente o esquemático elétrico foi montado e em seguida exportado para elaboração da placa.

A Figura 2.12 explicita o circuito elaborado no Eagle, já nas Figuras 2.13 e 2.14 é apresentada a placa final confeccionada e utilizada nos testes.

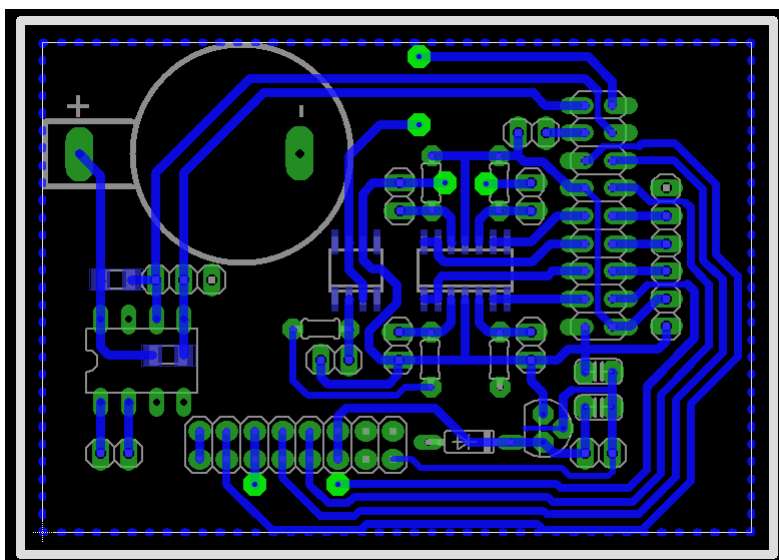


Figura 2.12. Esquemático da PCB no programa Eagle.

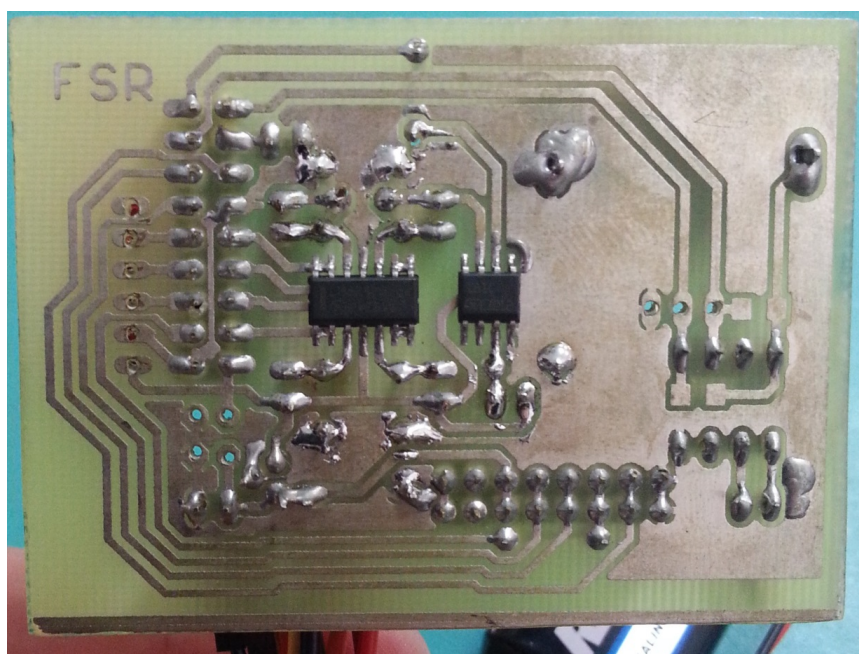


Figura 2.13. Placa de circuito impresso confeccionada para aquisição dos sinais de pressão plantar - Vista Inferior.

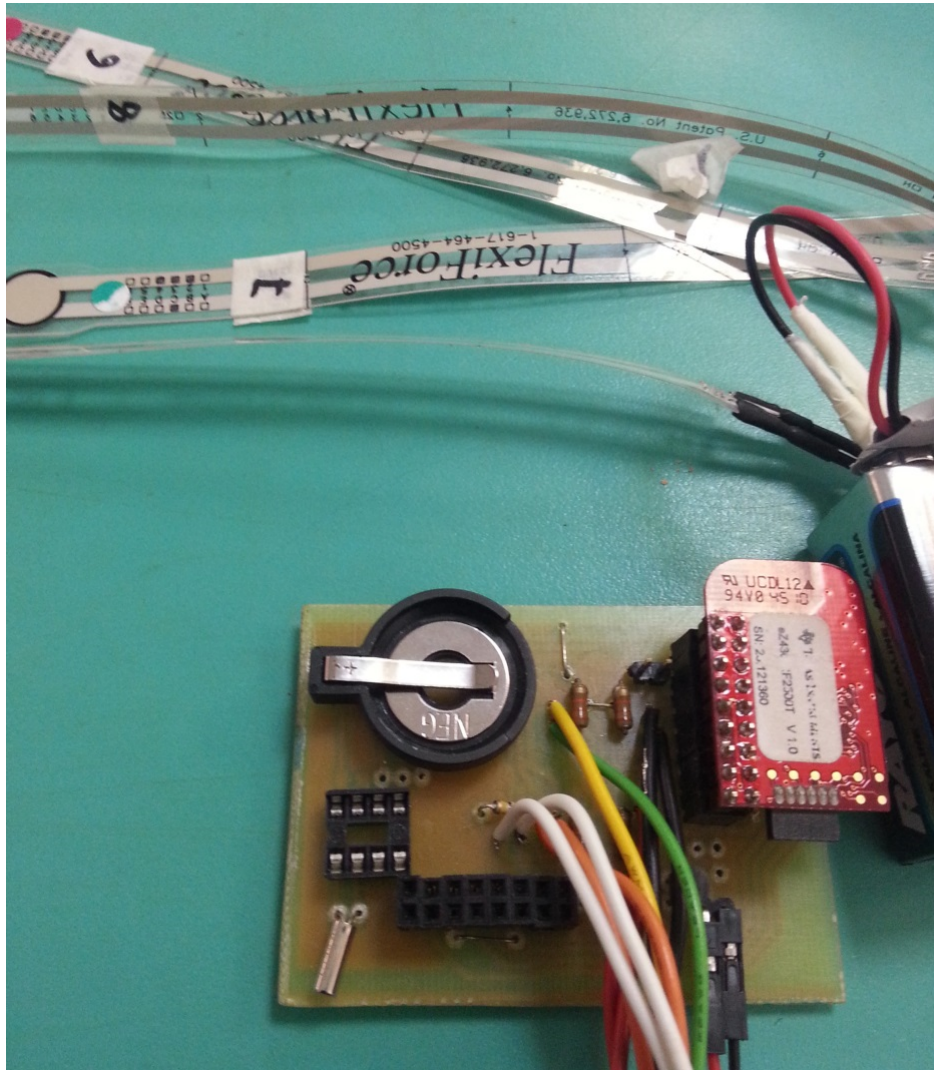


Figura 2.14. Placa de circuito impresso confeccionada para aquisição dos sinais de pressão plantar - Vista Inferior.

2.5 Desenvolvimento do *software* de aquisição e análise de dados

Os códigos implementados são destinados a coletar as informações da palmilha, enviar e receber uma mensagem contendo esses dados, permitir a leitura dos elementos pelo MatLab e por fim armazenar e apresentar as informações obtidas. Para um melhor entendimento dos *softwares*, estes serão apresentados de forma sequencial com o realizado durante uma aquisição.

2.5.1 End Device (ED)

Neste código são indicadas as portas de entrada e saída do dispositivo, os conversores A/D utilizados, além da interrupção para aquisição dos valores coletados pelos sensores.

2.5.2 Watchdog Timer

É um recurso que permite que o sistema retorne a uma situação conhecida em casos de falha do programa, de modo que o processador é reiniciado quando esse temporizador não é desativado periodicamente. Para o programa em questão esse timer foi desligado, garantindo que o programa não seja reiniciado pelo watchdog.

2.5.3 Funções principais

O ED apresenta dois leds, um vermelho e um verde, que são programados de forma a piscarem juntos quando os dados não estiverem sendo enviados. E quando a conexão for estabelecida o led verde acende, indicando o início da transferência via wifi.

O *software* seta os pinos P1 a P4 como entradas do sistema conforme apresentado no fragmento de código abaixo, exposto na Figura 2.15.

O laço principal tem a função de selecionar um dos canais, habilitar a interrupção do A/D que garantir a leituras dos cinco canais, sendo a cada interação


```

P1DIR = 0xFF;
P1OUT = 0x00;
P2DIR = 0x00;
P2OUT = 0x00;
P3DIR = 0xC0;
P3OUT = 0x00;
P4DIR = 0x00;
P4OUT = 0x00;

```

Figura 2.15. Selecionando as portas de P1 a P4 como entradas do sistema desenvolvido.

completa da interrupção transmitida uma mensagem com os resultados lidos durante aquele ciclo, o processo se repete para os cinco canais presentes. Os valores obtidos são armazenados em um vetor de 10 posições (de 8 bits cada) e transmitidos pelo módulo WiFi. Abaixo é apresentado o laço principal do ED, Figura 2.16.

```

ADC10CTL0 &= ~(REFON + ADC10ON);
ADC10CTL1 = INCH_14 + ADC10DIV_7; // Leitura da porta N°10 do MSP430 - A14
ADC10CTL0 = SREF_0 + ADC10SHT_3 + ADC10ON + ADC10IE ;
//for( degC = 240; degC > 0; degC-- ); // delay to allow reference to settle
ADC10CTL0 |= ENC + ADC10SC; // Sampling and conversion start
__bis_SR_register(CPUOFF + GIE); // LPM0 with interrupts enabled
result[3] = ADC10MEM;
ADC10CTL0 &= ~ENC;

ADC10CTL0 &= ~(REFON + ADC10ON); // turn off A/D to save power

```

Figura 2.16. Na imagem é feita a leitura da porta número 10 do MSP. É realizada a conversão do sinal pelo A/D do MSP. O resultado da conversão é armazenado no vetor 'result' na posição , em seguida o A/D é limpo.

Ao final, com a leitura de todos os A/Ds é gerada uma mensagem que será enviada ao AP do microcontrolador. O fragmento de código na Figura 2.17 apresenta a montagem desta mensagem.

2.5.4 Access Point (AP)

O AP tem a função de receber vetores com 10 posições de 8 bits de cada nó, sendo o nó o número de EDs que estão enviando informações. Neste trabalho foram utilizados 2 nós. É sua função também construir uma sequência de texto indicando cada nó e suas medidas de forma a separar as medidas de cada nó em uma mensagem simples de ler. Em seguida é enviada a mensagem via USB.

```

/*message format, UB = upper Byte, LB = lower Byte
|-----|
|sensorP4 LB | sensorP4 UB | sensorP6 LB | sensorP6 UB | sensorP8 LB | sensorP8 UB | sensorP10 LB | sensorP10 UB |
|-----|
0          1          2          3          4          5

*/

msg[0] = result[0]&0xFF;
msg[1] = (result[0]>>8)&0xFF;

msg[2] = result[1]&0xFF;
msg[3] = (result[1]>>8)&0xFF;

msg[4] = result[2]&0xFF;
msg[5] = (result[2]>>8)&0xFF;

msg[6] = result[3]&0xFF;
msg[7] = (result[3]>>8)&0xFF;

msg[8] = result[4]&0xFF;
msg[9] = (result[4]>>8)&0xFF;

```

Figura 2.17. Formação da mensagem que será enviada ao AP do microcontrolador.

2.5.5 Programa para coleta dos sinais no pc a partir da comunicação sem fio

Tem a funcionalidade de varrer as portas seriais à procura de uma que esteja enviando no formato do AP. Ao encontrar, inicia a leitura das medidas de cada nó. Dentro de um laço, são extraídas as medidas e estimados os tempos de aquisição. Os dados dos últimos 10 segundos são plotados na tela, conforme mostra código na Figura 2.18, abaixo:

```

if(ultimo_instante < tempo_na_tela_segundos)

    plot(tempo, palmilha1/100, 'r'); axis([0 tempo_na_tela_segundos -0.10 35]); hold on
    plot(tempo, palmilha2/100 + 10, 'g'); axis([0 tempo_na_tela_segundos -0.10 35]); hold on
    plot(tempo, palmilha3/100 + 20, 'b'); axis([0 tempo_na_tela_segundos -0.10 35]); hold on
    plot(tempo, palmilha4/100 + 30, 'k'); axis([0 tempo_na_tela_segundos -0.10 35]); hold off
    xlabel('Tempo (segundos)');
    ylabel('Tensão (V)');

```

Figura 2.18. Apresentação gráfica dos valores lidos nos 4 primeiros canais dos circuitos utilizados.

Vale ressaltar que embora o sistema realizasse a aquisição de 10 sensores de pressão, apenas 8 deles foram utilizados nos testes, em decorrência da flutuação do quinto sensor em cada uma das placas utilizadas. Além disso, apenas 4 eram apresentados graficamente durante os testes devido ao *delay*, gerado pelo MatLab durante a apresentação dos dados, acabar deixando o sistema lento. Entretanto em simultâneo a esse processo é gerado um arquivo que armazena todos os dados lidos dos sensores utilizados.

2.6 Protocolo experimental

2.6.1 Local para realização da pesquisa

Os testes com crianças diagnosticadas com autismo foram realizados na Aprender Clínica Psicopedagógica, que se destina a realizar atividades nas áreas de pedagogia, psicologia e fonologia de crianças diagnosticadas com dificuldade de aprendizagem, que englobam a dislexia, TDAH e DPAC; e crianças com transtorno global do desenvolvimento, conhecido como autismo. Para realização dos testes foram coletadas assinaturas dos responsáveis das crianças (termo de consentimento no Anexo B), e dados foram obtidos, como o peso e a idade do participante. Para as crianças não-autistas o mesmo procedimento foi feito. Essas assinaturas no Termo de Consentimento são requisitos do Comitê de Ética em Pesquisa – CEP, ao qual esse projeto foi submetido através da Plataforma Brasil. O anexo A apresenta o protocolo experimental proposto ao comitê de ética, com informações importantes, como cronograma de execução e custos.

2.6.2 Alocação dos Participantes

As crianças foram selecionadas de acordo com a faixa etária, que vai de 4 a 13 anos de idade. Além disso, no grupo de crianças autistas foram escolhidas aquelas com apenas o diagnóstico clínico de transtorno global do desenvolvimento.

A faixa de idades contempla crianças com diagnóstico de autismo recentes, visto que a faixa para detecção do autismo vai até os 3 anos de idade, e as crianças mais velhas foram selecionadas para verificação de alterações que já possam ter ocorrido durante o crescimento da mesma.

2.6.3 Processo de coleta e fabricação dos moldes

Para a elaboração dos testes, foram feitos com cada uma das crianças duas visitas, a primeira destinada a coletar o molde do pé com o auxílio do alginato. O processo leva em torno de 5 minutos para cada criança. De posse do molde em

negativo dos pés, em laboratório, foram confeccionados os moldes positivos. O preenchimento das formas de alginato com gesso rosa, material utilizado em ortodontia, garantiram a verossimilhança do molde com os pés dos participantes. A Figura 2.19 apresenta o processo de coleta do molde em um dos participantes na Clínica Aprender.



Figura 2.19. Processo de coleta do molde com o alginato realizado na clínica aprender.

2.6.4 Processo de produção das palmilhas

Para elaboração das palmilhas personalizadas foi utilizado Látex vulcanizado, sem dissolução em água ou qualquer outro solvente. Cada um dos moldes em

gesso recebeu uma camada fina de látex com auxílio de uma esponja. Em seguida os moldes banhados foram levados a uma estufa por aproximadamente dez minutos, ou até que o látex estivesse seco. Foram realizados 5 banhos para cada molde. Após a finalização da palmilha é feita a retirada da mesma do molde. A Figura 2.20 mostra uma palmilha ainda presa ao molde. É possível notar que parte do látex aplicado fica acumulado do lado inverso do gesso, assim é necessária a retirada do excesso de material.

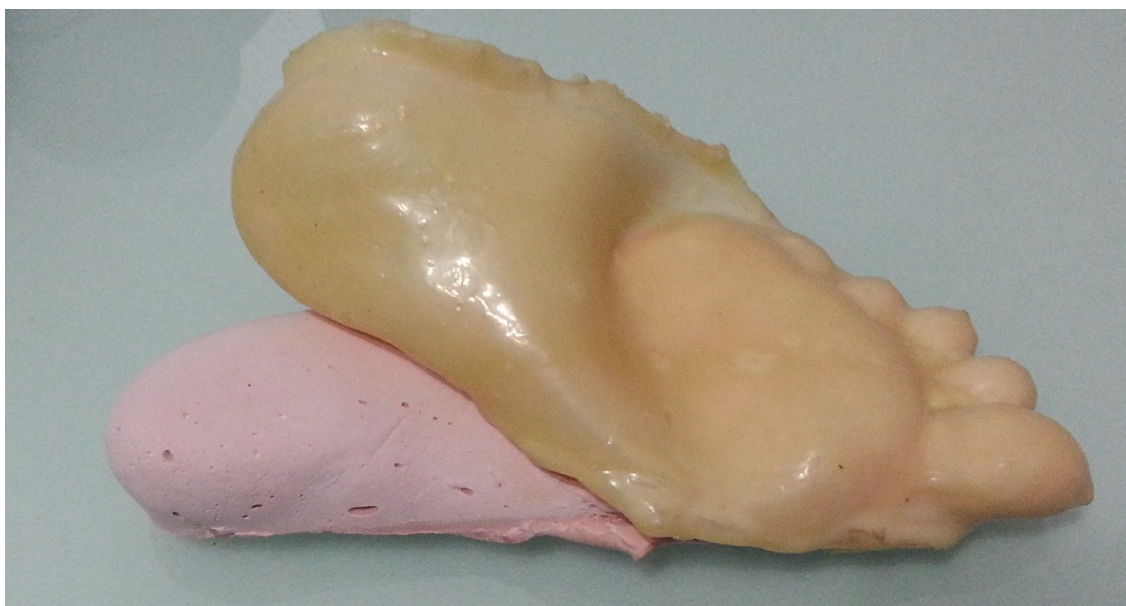


Figura 2.20. Palmilha em Látex ainda presa ao molde de gesso..

Com a retirada da palmilha são dados mais 2 banhos no molde com a finalidade de obter uma camada fina de látex que irá isolar os sensores do contato direto com a pele dos participantes da pesquisa.

2.6.5 Instalação dos sensores

Os sensores utilizados são distribuídos na palmilha conforme a Figura 2.7 e presos com fita isolante para garantir a fixação dos mesmos na palmilha. Visto que os sensores utilizados são longos, seus prolongamentos saem da palmilha por um mesmo lado do pé. A Figura 2.21 apresenta a palmilha com os sensores distribuídos e fixados sobre ela.

Sobre os sensores é alocada a camada de látex mais fina, isolando assim os



Figura 2.21. Distribuição dos sensores de pressão ao longo da palmilha.

elementos sensíveis do contato com a criança. A fixação desta segunda camada é feita em látex. Nos locais ausentes de sensoriamento são feitas aplicações do material, que funciona como uma cola e fixa de forma provisória as duas palmilhas confeccionadas. Ao final dos testes a segunda camada de látex pode ser retirada e os sensores podem ser reutilizados.

2.6.6 Realização da intervenção com as crianças

Com as palmilhas prontas, foram realizadas as dinâmicas com as crianças, onde cada uma realizou uma caminhada de cerca de 1 minuto em linha reta, totalizando aproximadamente 5 passos, após o que retornava ao ponto de início. Durante a caminhada, era utilizada a palmilha sensorizada, por meio da qual foi realizada a coleta dos sinais da pressão plantar, que foram enviados, via *wireless*, para armazenagem no computador. A Figura 2.22 mostra um dos participantes da pesquisa realizando os testes de validação da palmilha, que foi finalizada com a apresentação correta e em tempo real dos sinais de pressão obtidos durante os testes.



Figura 2.22. Participante realizando a caminhada com o circuito desenvolvido associado a ele.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para fins de resguardo da identidade dos participantes da pesquisa, suas identificações serão feitas a partir de códigos, sendo as crianças autistas nomeadas como A1, A2 e A3 e as crianças não-autistas como NA1, NA2 e NA3. Dessa forma, desse ponto em diante, todas as referências às crianças serão baseadas nesse padrão.

Durante a confecção dos moldes foi permitido que os participantes escolhessem o pé que queriam utilizar para realização dos testes, portanto foram feitos cinco moldes, sendo dois de pés direitos e três de pés esquerdos.

3.1 Energias Médias

A Tabela 3.1 apresenta as energias médias obtidas para cada sensor, com o valor absoluto dos dados coletados em cada um dos participantes elevado ao quadrado. A unidade de medida dos valores listados é V^2 . Observou-se que, mesmo sem a presença da massa das crianças nesta tabela, no geral, as energias quadráticas de cada sensor foram maiores nas crianças não-autistas. Entretanto, estes resultados apresentam grande influência da massa de cada uma das crianças, sendo importante a normalização destes valores por suas respectivas massas.

A Tabela 3.2 apresenta as energias médias obtidas de cada sensor normalizadas pela massa do respectivo participante. A unidade de medida dos valo-

Tabela 3.1. Energias não normalizadas pela massa dos participantes.

Número do sensor	Participantes				
	A1	A2	NA1	NA2	NA3
1	0,10025	0,13707	0,10607	0,48149	1,00E-10
2	0,022661	0,057374	0,19816	0,13175	0,03622
3	0,12874	0,035217	0,11436	0,47234	0,61943
4	0,10272	0,0019622	2,4475	0,041486	0,033635
5	0,015084	3,3343E-07	1E-10	1E-10	1,00E-10
6	0,32457	0,022314	0,064991	0,095424	0,028742
7	0,64527	0,13433	2,7704	1,3315	0,029413
8	0,0099754	0,0016276	0,18509	0,29983	0,10845

res listados é V^2/Kg . A fim de obtermos uma melhor comparação entre os dados, a Tabela 3.3 explicita a média dos sensores para as crianças autistas e não-autistas, bem como a média total entre os oito sensores para os dois grupos. Nela é possível observar, com exceção do sensor 5, que as médias energéticas das crianças autistas é inferior as crianças não-autistas. Isso fica mais evidente na média total de sensores, onde o valor obtido para os autistas é menor que metade do obtido para crianças não-autistas.

Tabela 3.2. Energias médias de cada sensor de pressão normalizados pela massa dos participantes.

Número do sensor	Participantes				
	A1 (26 Kg)	A2 (26 Kg)	NA1 (28 Kg)	NA2 (60 Kg)	NA3 (30 Kg)
1	0,003856	0,005272	0,003788	0,008025	3,33E-12
2	0,000872	0,002207	0,007077	0,002196	0,001207
3	0,004951	0,001355	0,004084	0,007872	0,020648
4	0,003951	7,55E-05	0,087412	0,000691	0,001121
5	0,00058	1,28E-08	3,57E-12	1,67E-12	3,33E-12
6	0,012484	0,000858	0,002321	0,00159	0,000958
7	0,024818	0,005167	0,098944	0,022191	0,00098
8	0,000384	6,26E-05	0,00661	0,004997	0,003615

A Tabela 3.4 apresenta as energias médias obtidas de cada sensor normalizadas pela massa elevada ao quadrado do respectivo participante. A utilização da massa elevada ao quadrado nesta tabela se deve a relação quadrática presente na energia dos sinais, sendo assim os resultados obtidos apresentam tanto no numerador quanto no denominador unidades quadráticas. Portanto, a unidade de medida dos valores listados é V^2/Kg^2 . Assim como na relação apresentada

Tabela 3.3. Energias médias de cada sensor de pressão normalizados pela massa dos participantes.

Número do sensor	Participantes	
	A	NA
1	0,00456375	0,003937733
2	0,00153913	0,003493367
3	0,0031529	0,010868133
4	0,002013136	0,029741543
5	0,000290091	2,85713E-12
6	0,006671115	0,001623193
7	0,01499235	0,04070514
8	0,000223135	0,0050742
Total	0,004180701	0,011930414

na Tabela 3.2 é notável uma diferença entre os valores obtidos para autistas e não-autistas. As médias para os sensores dos grupos, bem como as médias totais para os sensores estão listadas na Tabela 3.5. Mais uma vez é perceptível que os valores mais elevados são oriundos do grupo de crianças não-autistas.

A partir de uma análise mais detalhada das tabelas 3.2 e 3.4 foi possível observar que, para a maioria dos sensores, as crianças diagnosticadas com autismo apresentaram energias médias menores que as crianças não-autistas, para as condições em que se realizou a aquisição dos sinais. Isso sugere que possa haver diferenças observáveis entre os padrões de marcha de crianças autistas e não-autistas em condições semelhantes. Cabe observar que há relatos de que crianças autistas apresentam pisadas ora mais intensas ora menos intensas do que crianças não-autistas, sendo que no experimento realizado aparentemente se deu o segundo caso.

Tabela 3.4. Energias médias de cada sensor de pressão normalizados pela massa ao quadrado dos participantes.

Número do sensor	Participantes				
	A1 (26 Kg)	A2 (26 Kg)	NA1 (28 Kg)	NA2 (60 Kg)	NA3 (30 Kg)
1	0,000148	0,000203	0,000135	0,000134	1,11E-13
2	3,35E-05	8,49E-05	0,000253	3,66E-05	4,02E-05
3	0,00019	5,21E-05	0,000146	0,000131	0,000688
4	0,000152	2,9E-06	0,003122	1,15E-05	3,74E-05
5	2,23E-05	4,93E-10	1,28E-13	2,78E-14	1,11E-13
6	0,00048	3,3E-05	8,29E-05	2,65E-05	3,19E-05
7	0,000955	0,000199	0,003534	0,00037	3,27E-05
8	1,48E-05	2,41E-06	0,000236	8,33E-05	0,000121

Tabela 3.5. Médias das Energias, para normalização da massa ao quadrado.

Número do sensor	Participantes	
	A	NA
1	0,00017553	8,96833E-05
2	5,91975E-05	0,000109863
3	0,000121268	0,000321773
4	7,74314E-05	0,001056932
5	1,11572E-05	8,88127E-14
6	0,000256575	4,71133E-05
7	0,00057663	0,001312077
8	8,58235E-06	0,000146622
Total	0,000160796	0,000385508

3.2 Representação Temporal da Caminhada

As Figuras de 3.1 a 3.5 apresentam uma representação temporal da caminhada dos participantes, sendo em cada uma das imagens apresentadas as variações de tensão obtidas pelos oito sensores durante os testes. As Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 são as caminhadas dos não-autistas, enquanto que as Figuras 3.4 e 3.5 as dos autistas.

Para a criança NA1, o pé em estudo foi o direito, observou-se que ela não pisava no chão de forma a ativar o sensor 4, indicando características de um pé não plano. O sensor 3 está ativo constantemente, esse comportamento se deve a problemas eletrônicos ocorridos durante a aquisição e que acabaram por tratar o Flexiforce[®] como um fio durante a aquisição. Vale salientar que como apenas os primeiros 4 sensores são apresentados em tempo real, não foi possível corrigir o problema durante a intervenção.

Para a criança NA2, o pé analisado foi o direito, e assim como a criança NA1, as características desta pisada indicam um pé não plano. Entretanto a frequência em que esta criança andava era maior em relação a primeira, indicando uma velocidade maior no caminhar deste participante.

A representação gráfica da caminhada da criança NA3, testada com o pé esquerdo, explicita que o sensor 1 não teve qualquer alteração durante a dinâmica, indicando que o mesmo estava desativado durante a intervenção. Assim como os anteriores o sensor 4 não apresentou qualquer alteração, caracterizando o pé em questão como não plano. Fazendo uma relação entre os outros sensores, o caminhar da criança em questão é mais leve, com excessão do sensor 3, responsável por coletar a pressão frontal no canto mais a esquerda do pé esquerdo.

Para o participante A1, observou-se que todos os sensores foram acionados, sendo este o único participante que acionou o sensor 5, responsável pela aquisição da pressão plantar na parte interna do pé esquerdo. A ativação deste indica que o pé em questão é mais plano que o das outras crianças analisadas.

Por fim, o participante A2, assim como grande parte das outras crianças não obteve variação no sinal do sensor no ponto mais interno do pé. Entretanto em comparação ao sinal dos sensores das outras crianças as tensões obtidas nos

testes foram reduzidas, ou seja, este colaborador apresentou variações pequenas de pressão em sua caminhada. É possível também observar que uma maior aplicação de força foi feita na parte frontal do pé, indicando um caminhar na ponta dos pés.

É possível observar particularmente uma diferença importante na atuação do sensor 7 de cada participante, que trata-se do sensor posicionado exatamente no calcanhar da criança. Esse sensor, é o que passa maiores períodos acionados e com uma pressão alta aplicada. Isso se dá devido ao mecanismo normal da caminhada, onde o calcanhar passa a maior parte do tempo apoiado ao chão.

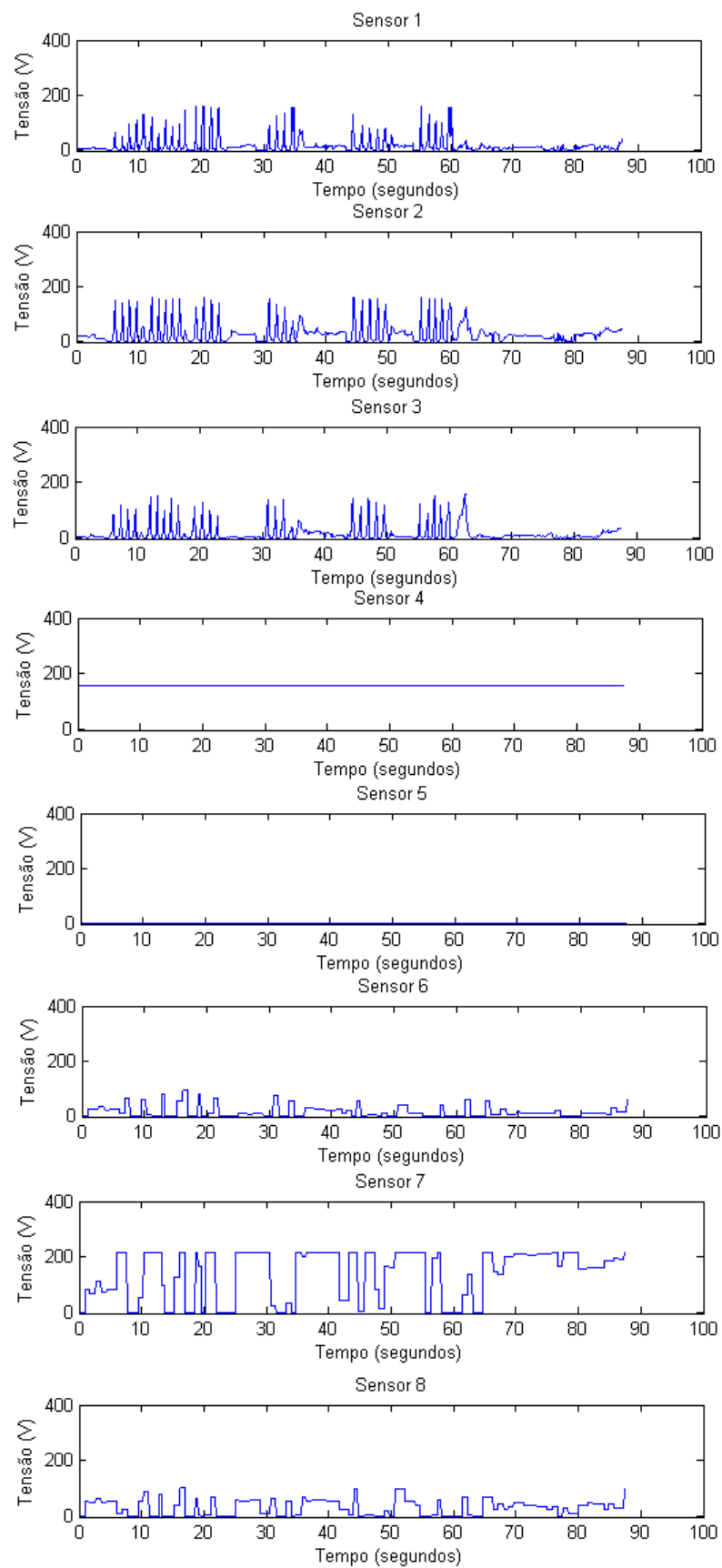


Figura 3.1. Representação temporal da caminhada do participante NA1, sendo possível a observação do desempenho de cada sensor.

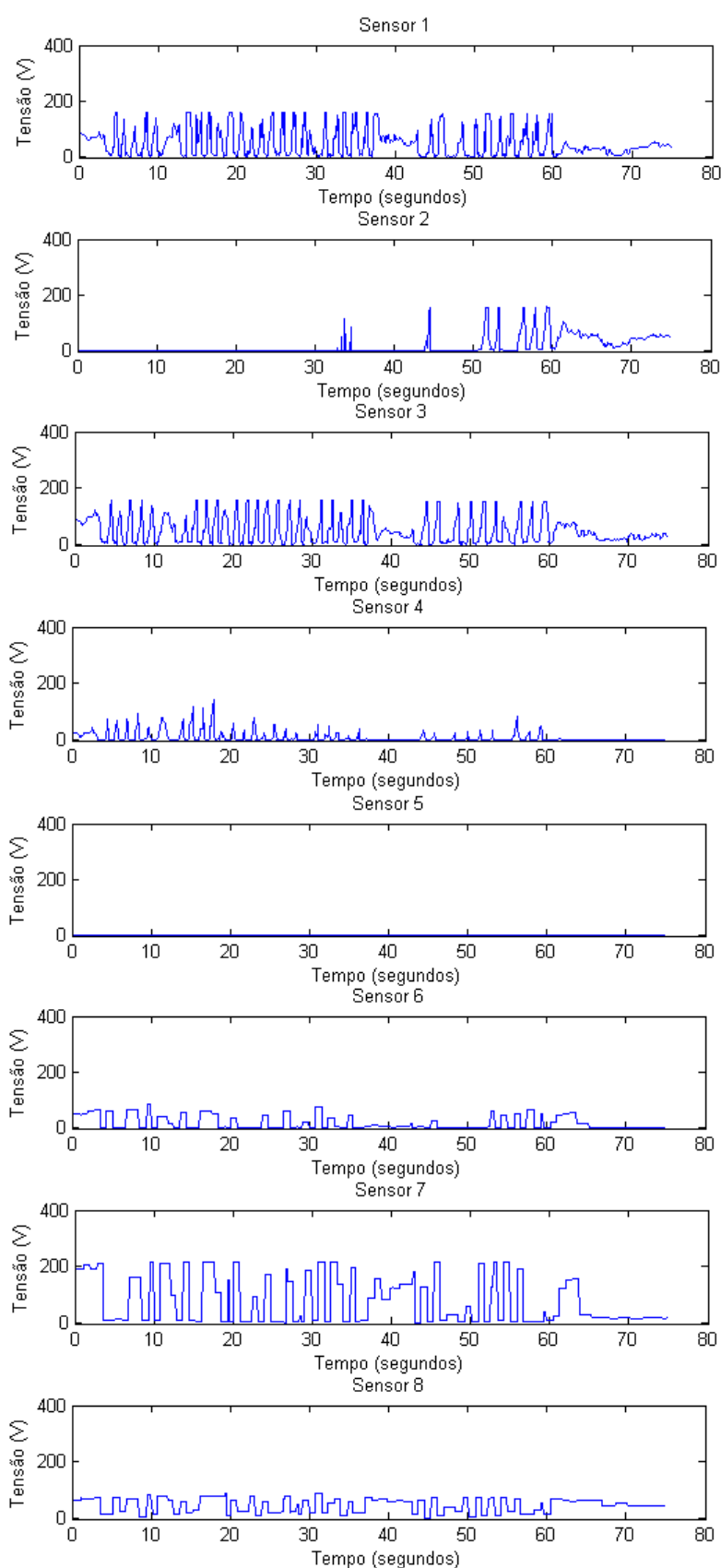


Figura 3.2. Representação temporal da caminhada do participante NA2, sendo possível a observação do desempenho de cada sensor.

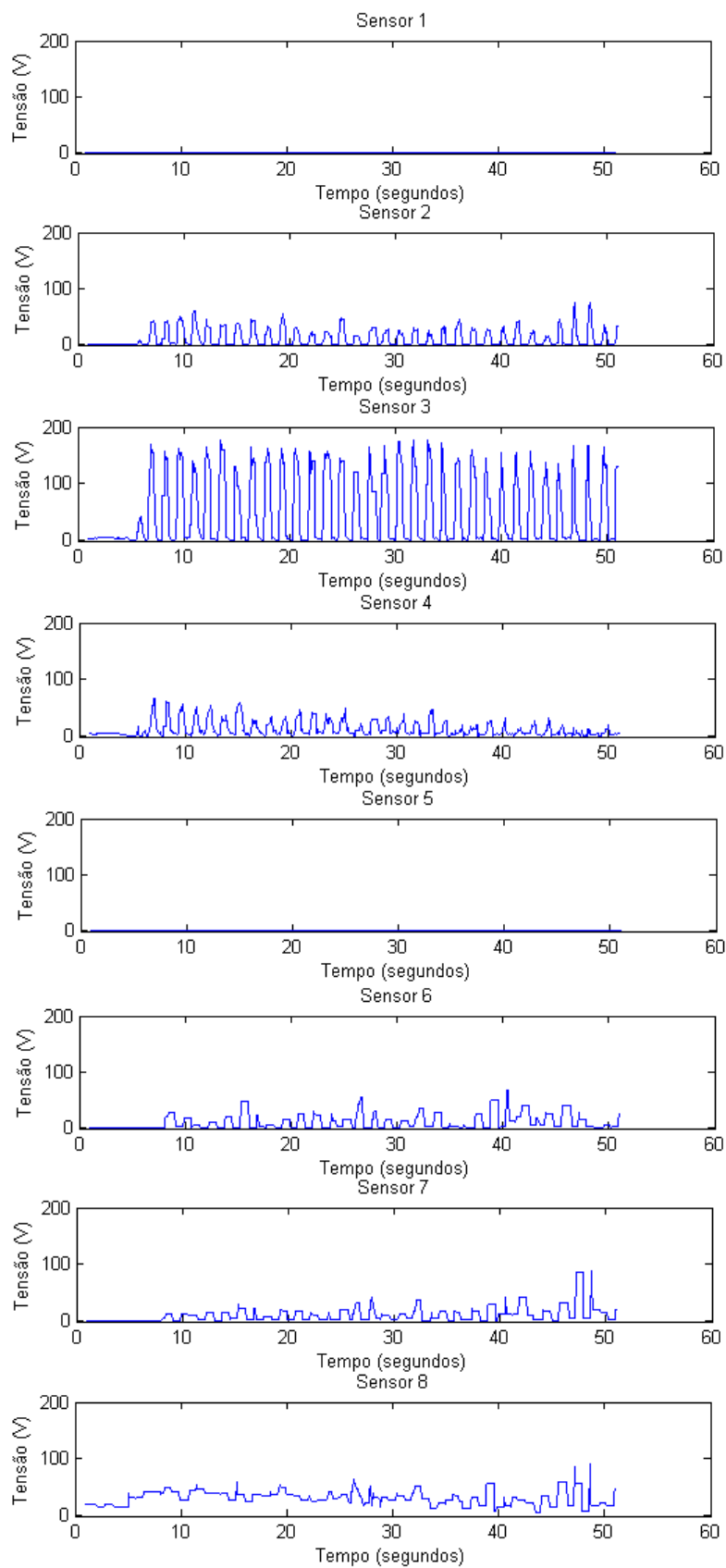


Figura 3.3. Representação temporal da caminhada do participante NA3, sendo possível a observação do desempenho de cada sensor.

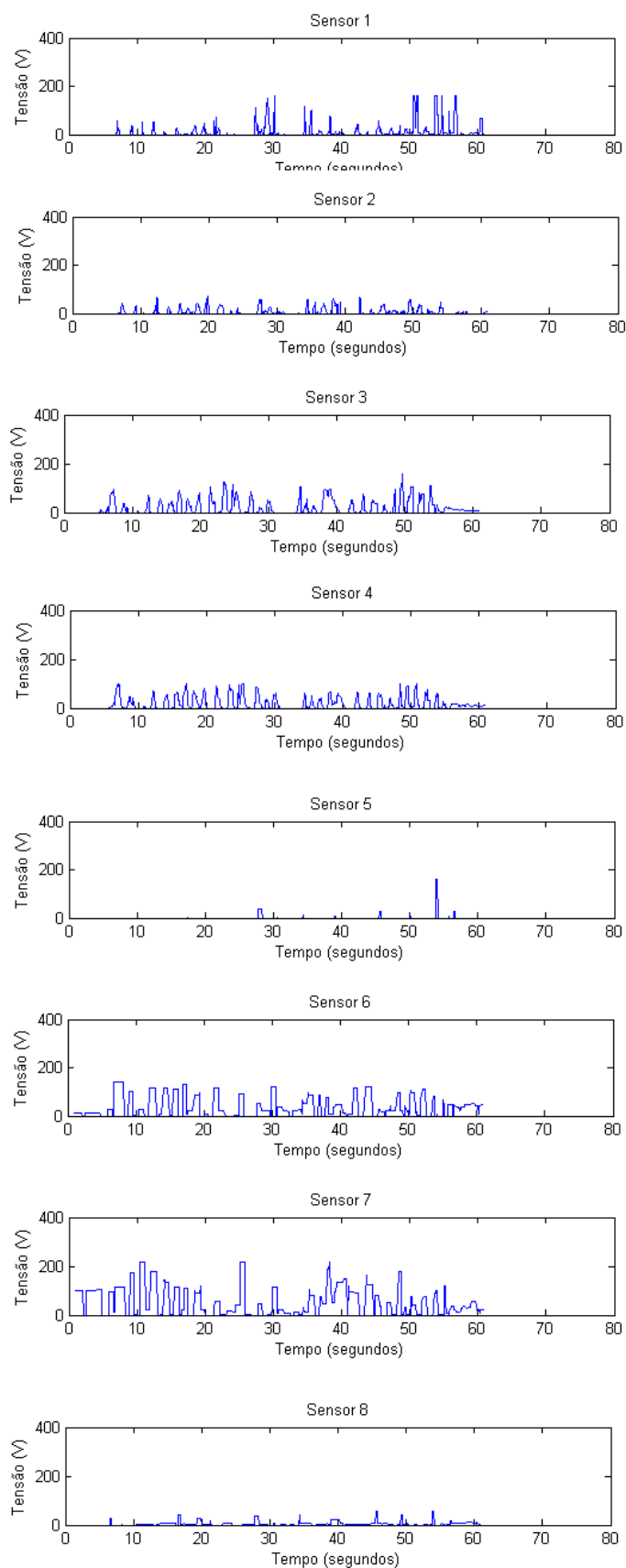


Figura 3.4. Representação temporal da caminhada do participante A1, sendo possível a observação do desempenho de cada sensor.

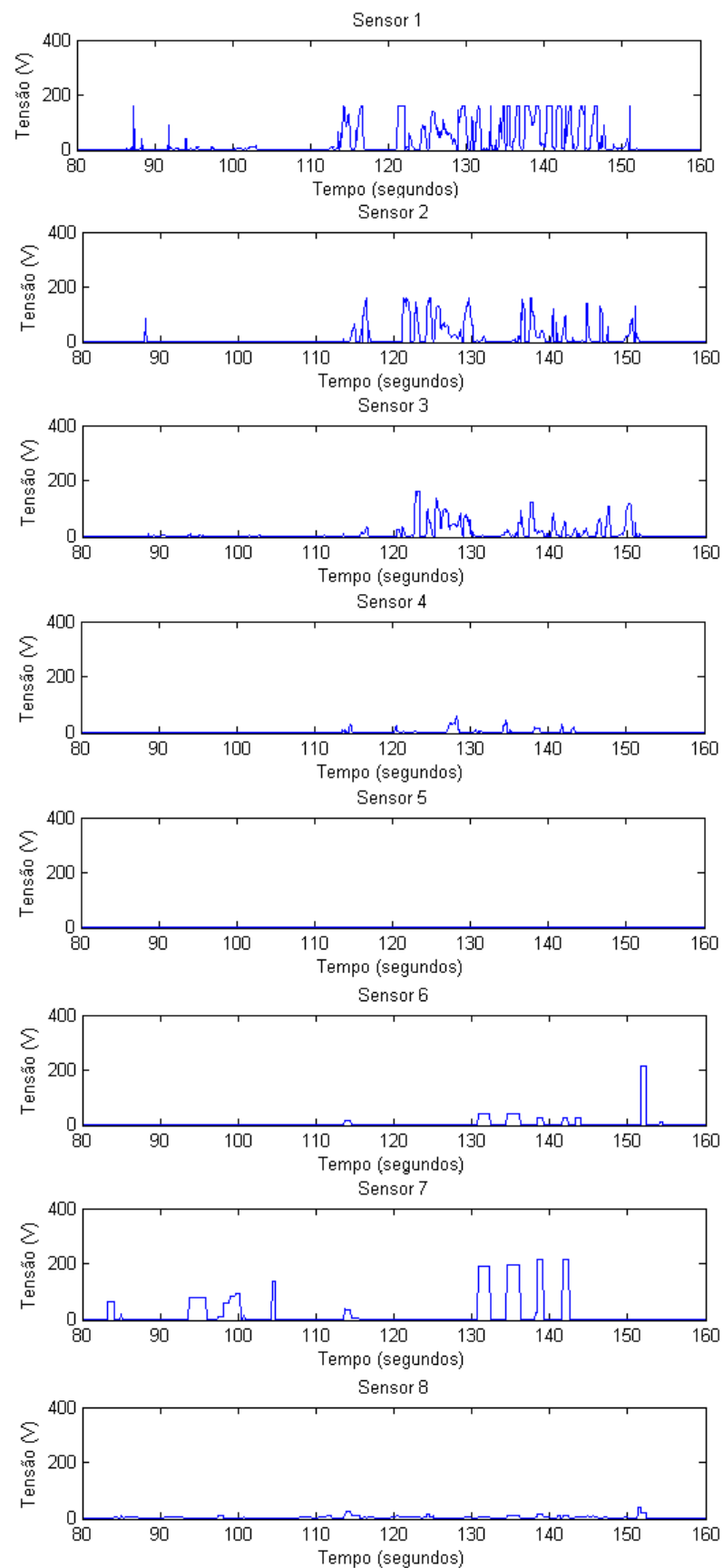


Figura 3.5. Representação temporal da caminhada do participante A2, sendo possível a observação do desempenho de cada sensor.

3.3 Relação entre sensores

As Tabelas 3.6 e 3.7 exprimem as relações entre os oito sensores, para cada um dos colaboradores autistas e não-autistas, respectivamente. Os valores explicitados foram obtidos com a razão entre o primeiro e o segundo sensores apresentados em cada uma das linhas da tabela. Assim, valores positivos e elevados indicam que o primeiro sensor, da relação, apresenta maior energia que o segundo; para valores próximos a um, a energia dos sensores são praticamente iguais; para valores negativos a relação entre os sensores indica que o segundo sensor apresenta uma maior energia que o primeiro. Os valores expostos são dados em dB para medir a proporção entre duas quantidades físicas em escala logarítmica.

Pode-se observar a partir das tabelas 3.6 e 3.7 relações interessantes entre as crianças autistas e as não-autistas, apesar de a pequena amostra não permitir realizar observações conclusivas. Um estudo posterior com uma amostra maior talvez apresente dados mais significativos nesse respeito. Por exemplo, a relação entre os sensores 1 e 2 das crianças autistas apresentou valores em dB na média sempre positivos, enquanto que a mesma relação para crianças não-autistas apresenta valores na média sempre negativos, sugerindo que nas crianças autistas observadas a pressão aplicada sobre o ponto 1 é maior que a pressão no ponto 2, ao contrário do que acontece nas crianças não-autistas.

Fato semelhante ocorre com a relação entre os sensores 2 e 5, para os quais a relação dos não-autistas é positiva, porém é muito menor que a mesma relação para as crianças autistas.

Isso mostra que o sistema pode ser utilizado para apontar diferenças de distribuição de pressões. Com um grupo maior de estudo, pode ser realizada então uma análise estatística para testar diferentes hipóteses de distribuição de pressão.

Entretanto alguns fatores devem ser levados em consideração, tais como:

- Local de realização da intervenção: O teste com as crianças autistas foi realizado em uma clínica, onde a criança tinha contato com desconhecidos.

Enquanto que os participantes não-autistas realizaram os testes em suas residências com pessoas as quais já eram familiarizadas;

- Reconhecimento de texturas: Crianças autistas, no geral, apresentam repulsa por materiais desconhecidos de seus cotidianos, o que poderia ocasionar um caminhar não natural durante dos testes;
- Número de participantes: O baixo número de colaboradores, três autistas e três não-autistas, não permitem avaliar de maneira sólida que crianças autistas apresentam uma pisada diferenciada. Seriam necessárias amostras maiores de ambos os grupos para uma análise estatística mais elaborada.

Tabela 3.6. Relações mínima, máxima e média entre as pressões mensuradas pelos sensores na palmilha, medidas no caso dos participantes autistas.

Relação Entre Sensores	Participante					
	A1			A2		
	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Média (dB)	Mínimo (dB)	Máximo (dB)	Média (dB)
Sensor 1-2	-103.7	127.8	111.1	-143.1	97.0	75.2
Sensor 1-3	-132.6	100.0	83.0	-145.9	0.0	-1.5
Sensor 1-4	-133.5	100.0	83.0	-127.1	97.0	75.2
Sensor 1-5	-0.8	137.2	124.4	-142.4	0.0	-1.7
Sensor 1-6	-136.4	132.2	115.2	-141.7	0.0	-1.0
Sensor 1-7	-143.8	38.2	21.2	-139.6	97.0	75.2
Sensor 1-8	-117.2	120.0	103.0	-131.4	97.0	75.2
Sensor 2-3	-132.6	98.1	81.5	-139.0	143.1	122.6
Sensor 2-4	-133.5	87.0	70.0	-119.8	117.6	98.8
Sensor 2-5	-109.1	130.9	122.4	-142.1	117.6	98.8
Sensor 2-6	-136.4	129.0	112.0	-141.7	143.1	121.5
Sensor 2-7	-143.8	35.1	18.1	-139.6	117.6	98.8
Sensor 2-8	-120.5	126.0	109.0	-125.2	143.1	122.6
Sensor 3-4	-87.0	6.9	1.0	-127.1	133.8	112.4
Sensor 3-5	-3.3	137.6	129.6	-141.9	135.7	117.6
Sensor 3-6	-128.5	132.7	115.7	-139.2	141.4	124.9
Sensor 3-7	-141.3	38.7	21.8	-138.7	135.7	116.3
Sensor 3-8	-108.1	129.5	112.6	-125.2	139.0	123.7
Sensor 4-5	-8.2	135.5	129.0	-116.3	114.0	96.8
Sensor 4-6	-128.5	134.3	117.3	-101.0	123.8	106.2
Sensor 4-7	-141.3	40.3	23.3	-101.8	114.0	98.4
Sensor 4-8	-108.1	129.1	112.2	-108.3	127.1	109.3
Sensor 5-6	-142.6	8.2	-7.6	-10.2	138.2	118.1
Sensor 5-7	-144.5	2.5	-12.8	-93.0	131.1	109.7
Sensor 5-8	-126.1	9.5	-4.1	-101.0	141.9	126.8
Sensor 6-7	-94.0	8.8	0.9	-124.4	121.9	100.2
Sensor 6-8	-112.0	137.5	120.9	-124.8	140.4	125.1
Sensor 7-8	-18.1	139.9	128.6	-101.0	138.7	122.5

Tabela 3.7. Relações mínima, máxima e média entre as pressões medidas pelos sensores na palmilha, medidas no caso dos participantes não-autistas.

Relação Entre Sensores	Participante								
	NA1			NA2			NA3		
	Mín. (dB)	Máx. (dB)	Média (dB)	Mín. (dB)	Máx. (dB)	Média (dB)	Mín. (dB)	Máx. (dB)	Média (dB)
Sensor 1-2	-137.7	0.0	-11.5	-135.8	0.0	-6.6	-131.9	0.0	-8.2
Sensor 1-3	-146.8	0.0	-13.7	-146.8	-112.0	-125.4	-134.6	0.0	-10.0
Sensor 1-4	-138.8	0.0	-15.4	-138.3	-122.9	-132.8	-133.3	-124.5	-128.7
Sensor 1-5	-139.2	-100.0	-116.4	-141.7	-116.5	-131.0	0.0	0.0	0.0
Sensor 1-6	-139.0	-100.0	-117.9	-140.6	0.0	-2.5	-130.5	0.0	-10.0
Sensor 1-7	-141.2	-109.9	-117.4	-140.6	-124.9	-133.3	-140.9	-109.4	-120.7
Sensor 1-8	-144.0	-143.9	-143.9	-135.6	0.0	-6.0	-131.5	-106.4	-117.5
Sensor 2-3	-144.3	3.9	-8.9	-137.4	18.3	1.9	-97.0	6.9	1.7
Sensor 2-4	-124.7	7.6	-2.9	-136.2	11.1	-2.6	-132.2	3.5	-5.1
Sensor 2-5	-137.6	16.6	5.6	-138.9	6.2	-5.2	0.0	131.9	124.6
Sensor 2-6	-138.1	10.4	-1.0	-134.7	135.8	128.2	-128.0	10.2	1.6
Sensor 2-7	-135.7	16.4	6.3	-139.1	-0.4	-7.0	-140.4	-2.3	-12.3
Sensor 2-8	-143.9	-6.2	-15.8	-131.1	134.2	117.3	-131.5	12.3	3.4
Sensor 3-4	-103.4	100.0	81.5	-15.2	11.0	6.1	-125.3	3.0	-5.6
Sensor 3-5	-137.6	46.8	29.7	-26.9	15.6	5.8	0.0	134.6	124.7
Sensor 3-6	-138.1	46.8	28.7	-21.4	146.8	139.8	-38.0	7.0	-0.2
Sensor 3-7	-135.7	36.9	27.8	-27.1	13.4	5.4	-111.6	-3.2	-12.5
Sensor 3-8	-143.9	2.9	0.5	-14.2	143.6	131.3	-113.5	19.7	7.3
Sensor 4-5	-137.6	25.1	12.9	-15.1	16.7	3.2	124.5	133.3	130.4
Sensor 4-6	-138.1	25.1	8.9	-10.0	138.3	132.3	0.1	125.3	115.0
Sensor 4-7	-135.7	25.0	15.4	-14.6	9.7	1.1	-13.4	15.9	4.5
Sensor 4-8	-143.9	-5.1	-11.2	-6.7	136.4	128.5	0.5	18.9	10.7
Sensor 5-6	-13.8	7.0	-2.8	-8.0	141.7	134.9	-130.5	0.0	-10.0
Sensor 5-7	-18.6	16.5	6.2	-8.4	9.2	1.0	-140.9	-109.4	-120.7
Sensor 5-8	-44.0	-4.7	-13.6	1.0	136.3	125.7	-131.5	-106.4	-117.5
Sensor 6-7	-10.1	18.0	9.5	-140.2	5.9	-3.1	-111.6	-5.8	-12.5
Sensor 6-8	-44.0	-4.9	-10.9	-134.2	136.0	125.6	-113.5	15.4	5.3
Sensor 7-8	-34.0	-2.7	-13.3	2.4	136.0	125.1	-2.4	23.1	16.1

CONCLUSÃO

Conforme já evidenciado em diversos estudos, a pisada de cada indivíduo é diferente e influi significativamente na qualidade de vida da pessoa. Dessa forma, é natural e importante a preocupação com a maneira com que o indivíduo pisa, visto que isso pode trazer danos à saúde da pessoa. Ainda mais importante é o estudo dessa pisada quando se está ainda na infância, época esta que possibilita correções ortopédicas, de forma a minimizar possíveis danos à marcha, aos pés, aos membros inferiores e, mais ainda, a toda a saúde da pessoa. No ínterim, as pessoas conseguem com o passar do tempo, notar essas anomalias na pisada, relatando-as aos profissionais devido a sintomas como dores nos pés ou nas pernas, dores nas costas, desgastes irregulares em seus sapatos, entre outros sintomas.

No entanto, surge um grupo específico que possui grandes dificuldades nesse quesito. Trata-se das crianças autistas. O autismo é um transtorno ou síndrome caracterizado pela presença da tríade autista, a saber, dificuldades nas relações interpessoais, dificuldades na comunicação e "prisão no seu próprio mundo". Devido aos dois primeiros fatores da tríade - a dificuldade na comunicação e a dificuldade nas relações interpessoais - muitas vezes a criança autista não consegue expressar corretamente o que está sentindo, ou o que o está incomodando, o que dificulta a identificação de problemas, como é o caso de alterações na pisada.

Além do mais, percebe-se em muitos casos alterações significativas na marcha das crianças autistas, sendo que alguns pisam de forma muito bruta, como é caso dos autistas clássicos, enquanto outros pisam de forma muito leve, apenas na ponta dos pés, como é o caso das crianças com a síndrome de Asperger, que faz parte do espectro autista.

Assim, essa pesquisa buscou fazer um estudo da marcha de crianças autistas, em comparação direta com crianças não-autistas, da mesma faixa etária, podendo ajudar terapeutas no tratamento de possíveis alterações. Conforme apresentado na seção de metodologia, foi feito um estudo com cinco crianças com idade variando de 4 a 13 anos, sendo uma meninas e quatro meninos, dos quais 2 tem diagnóstico definido como autistas e 3 como não-autistas.

Notou-se, a partir dos resultados, que é possível perceber algumas diferenças na pressão aplicada em diferentes áreas dos pés, tanto em comparação entre autistas e não-autistas como entre os sensores do próprio indivíduo. Ainda, foi possível notar que, do grupo estudado, as crianças autistas em geral aplicavam menor pressão em toda a área plantar, observação feita devido a uma energia menor dos sensores em comparação com as crianças não-autistas, indicando, à primeira vista, que essas pisam de forma mais leve. Apesar desses fatos apresentados, os resultados não são conclusivos nesta primeira análise, salientando-se que é indispensável o aumento do número de indivíduos inseridos na pesquisa, de forma que se tenha um grupo amostral significativo para análises estatísticas, promovendo um aprofundamento no estudo, levantando hipóteses e realizando testes estatísticos nas amostras coletadas.

Ainda, é possível destacar algumas limitações observadas durante a realização dos testes, entre as quais pode-se destacar a dificuldade em interagir com as crianças autistas, o que tornou a simples tarefa de coletar o molde e adquirir os sinais por meio da caminhada um tanto dispendiosa no que tange o tempo e material; a falta de um acompanhamento contínuo no dia-a-dia, o que poderia demonstrar diferenças em decorrência de situações cotidianas ou inusitadas durante o dia; o aspecto psicológico de estar realizando um teste, que foi perceptível com as crianças não-autistas, que iniciavam caminhando diferente, por estarem com a palmilha no pé e, somente após várias orientações, passaram a

caminhar normalmente.

Dessa forma, para trabalhos futuros, sugere-se que o tamanho da amostra seja aumentado, que os testes possam ser estendidos para o dia-a-dia, ou pelo menos para um período de tempo maior e que o circuito seja construído de forma mais discreta, além de "acoplado" ao participante de forma mais suave, evitando chamar atenção da criança, vindo a interferir de alguma forma no padrão de caminhada dela.

Foi ainda possível notar, em parceria com profissionais e professores, o grande potencial que existe na palmilha individualizada em diversas áreas, para além do uso com crianças autistas. A mesma poderá no futuro passar a ser utilizada para monitorização da pisada de atletas durante uma corrida, da pressão aplicada enquanto a pessoa está em pé, de forma a ajudar no controle e detecção de postura e manutenção do equilíbrio, entre outros.

Deste modo, é validada a palmilha para aquisição dos sinais, e isto engloba tanto a confecção da mesma em látex, levando em consideração a obtenção do molde e a construção do gesso, bem como a parte eletrônica do projeto, que compreende a placa de aquisição dos sinais, a transmissão dos mesmos via *wireless*, e validação dos sensores FlexiForce®. Fica claro também que há muito no que investir nessa área e que este projeto abre precedentes para pesquisas, tanto na área da engenharia, como na área médica, auxiliando significativamente no acompanhamento e tratamento de crianças autistas.

REFERÊNCIAS

- [1] R. J Abboud. Relevant foot biomechanics. *Current Orthopaedics*, 16(3):165–179, 2002.
- [2] R. J. Abboud, D. I. Rowley, and R. W. Newton. Lower limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients. *Clinical Biomechanics*, 15(1):37–45, 2000.
- [3] American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders 4*. American Psychiatric Association, Washington, DC, 4 edition, 1994.
- [4] Daniela Chiappin. *A importância da análise do apoio plantar em idosos: um estudo comparativo entre jovens e idosos*. dissertação de mestrado, Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- [5] João Otacilio Libardoni dos Santos. *Aspectos cinemáticos e cinéticos do movimento de eversão do calcanhar durante a marcha*. dissertação de mestrado, Ciências do departamento humano, Universidade de Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- [6] Santarmou Efstathia. Biofeedback methods for motor rehabilitation. *Patras*, 2006.
- [7] C Gillberg. Autism and pervasive developmental disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, (31):99–119, 1990.
- [8] L. Kanner. Autistic disturbances of affective contact. *Nervous Child*, (2):217–250, 1943.

- [9] N. L. W. Keijsers, N. M. Stolwijk, B. Nienhuis, and J. Duysens. A new method to normalize plantar pressure measurements for foot size and foot progression angle. *Journal of Biomechanics*, 42(1):87–90, 2009.
- [10] M. Monteiro, R. Gabriel, J. Aranha, M. Neves, M. S. Castro, and M. Moreira. Influence of obesity and sarcopenic obesity on plantar pressure of postmenopausal women. *Clinical Biomechanics*, 25(5):461–467, 2010.
- [11] M. N. Orlin and T. G. Mcpoil. Plantar pressure assessment. *Physics Therapy*, (80):399–409, 2000.
- [12] A. Putti, G. Arnold, L. Cochrane, and R. Abboud. Normal pressure values and repeatability of the emed[®] st4 system. *Gait & Posture*, 27(3):501–505, 2008.
- [13] A. B. Putti, G. P. Arnold, and R. J. Abboud. Foot pressure differences in men and women. *Foot and Ankle Surgery*, 16(1):21–24, 2010.
- [14] Mann R.A and Hagy J.L. The function of the toes in walking, jogging and running. *Clin. Orthop*, (149):24–29, 1979.
- [15] A. K. Ramanathan, P. Kiran, G. P. Arnold, W. Wang, and R. J. Abboud. Repeatability of the pedar-x[®] in-shoe pressure measuring system. *Foot and Ankle Surgery*, 16(2):70–73, 2010.
- [16] M. Rutter. Autism research: Prospectus and priorities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, (26):257–275, 1996.
- [17] L. Shu, H. Tao, W. Yangyong, and L. Qiao D. D. Feng T. Xiaoming. In-shoe plantar pressure measurement and analysis system based on fabric pressure sensing array. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3):767–775, 2009.
- [18] H. SizÃnio, E. P. TarcÃsio, R. Xavier, and G. Arlindo. *Ortopedia e Traumatologia - PrincÃpios e PrÃtica*. Artmed, Porto Alegre, RS, 2009.

- [19] Daniela Sofia S. Sousa and R. S. João Manuel. *Estudo de Soluções Comerciais para Análise Clínica da Pressão Plantar*. relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.
- [20] E. Teh, L. Teng, R. Acharyau, T. Ha, E. Goh, and L. Min. Static and frequency domain analysis of plantar pressure distribution in obese and non-obese subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 10(2):127–133, 2006.



DESCRIÇÃO DO PROJETO SUBMETIDA AO COMITÊ DE ÉTICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ENGENHARIA ELETRÔNICA

**IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA PALMILHA DE LÁTEX COM SISTEMA DE SENSORES PARA
INVESTIGAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO PLANTAR EM INDIVÍDUOS AUTISTAS**

UNIDADES ACADÊMICAS - INSTITUIÇÃO PROPONENTE:

Universidade de Brasília - Faculdade Gama

INSTITUIÇÃO CO-PARTICIPANTE:

Aprender Clínica Psicopedagógica LTDA.

DATA DE INÍCIO DO PROJETO:

12/10/2012

DATA DE CONCLUSÃO DO PROJETO:

30/07/2013

EQUIPE EXECUTORA:

Pesquisadora responsável:

Guilherme Caetano Peron – Aluno de graduação da Universidade de Brasília (UnB) – matrícula:
09/0006828

Mileny Ximenes Oliveira – Aluna de graduação da Universidade de Brasília (UnB) – matrícula:
10/46942

Orientadores:

Prof^a. Dra. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa – Faculdade Gama – Universidade de Brasília-
UnB

Prof. Dr. Cristiano Jacques Miosso – Faculdade Gama – Universidade de Brasília – UnB

Colaboradores:

Psicopedagoga Maria de Lourdes Dias Rodrigues.

Maio 2013

Esse projeto propõe o desenvolvimento e a avaliação de um sistema de aquisição de sinais da pressão plantar, a ser usado para investigar a distribuição de pressão plantar em crianças autistas. Os testes de avaliação envolverão crianças autistas tratadas na clínica Aprender, bem como um grupo de controle com crianças não autistas.

O projeto a seguir descreve a pesquisa a ser realizada, incluindo a fundamentação e os procedimentos experimentais a serem conduzidos. Os resultados preliminares apresentados se restringiram ao desenvolvimento do *hardware* para aquisição, e não testes com voluntários.

1. Introdução

O pé humano recebe constantemente a ação de forças, graças às suas características, proporcionando ao corpo humano uma base estável que confere, de forma eficiente, não só o suporte e equilíbrio numa fase de apoio, mas também uma estabilidade adequada durante o processo da marcha (*Monteiro et al. 2010; Ramanathan et al. 2010; Teh et al. 2006; Abboud 2002; Putti et al. 2008; Santos 2008*).

À medida que o tempo passa, forças de contato alteram a forma como é distribuída a pressão na superfície plantar do pé. Tais alterações podem provocar deformações plantares ou patologias que conseqüentemente levam a problemas de saúde. (*Abboud 2002; Putti et al. 2008; Monteiro et al. 2010*).

Na literatura é possível encontrar estudos abordando a relação entre as alterações da cinemática dos pés e as forças plantares³, em diferentes aspectos e para públicos diferenciados (*Mann et al. 1979*).

Nesse contexto, pesquisas a respeito da distribuição plantar tornaram-se alvo de constantes investigações nas mais diversas áreas, principalmente na área da saúde (*Keijsers et al. 2009*). Desta forma, estudos que envolvem a pressão plantar se destacam nos seguintes aspectos:

- i. Permitem, além do estudo de doenças e deformidades plantares, a verificação da influência de determinados tratamentos ou cirurgias; por exemplo, através de um estudo comparativo sobre qual a contribuição da disfunção muscular dos membros inferiores na alteração da distribuição da pressão plantar e conseqüente ulceração do pé em pacientes diabéticos (*Abboud et al. 2000*).
- ii. Possibilitam, para valores de pressão plantar atípicos, a criação e análise de soluções que melhorem a distribuição da pressão plantar por parte do paciente (*Orlin et al. 2000*).
- iii. Admitem a realização de uma sequência de comparações entre indivíduos saudáveis e um grupo de controle. A literatura fornece dados de estudos realizados e comparações feitas entre grupos de adultos e grupos de idosos, feita por

Chiappin (2007); entre homens e mulheres, executada por Putti et al. (2010), dentre outras comparações.

Este trabalho se destina a realizar uma sequência de comparações entre uma amostra de crianças saudáveis e uma de crianças com um quadro clínico de autismo definido. Este grupo de indivíduos foi selecionado pela ausência de estudos que deem destaque às características físicas de crianças autistas.

A proposta do projeto consiste na confecção e validação de uma palmilha de látex individualizada e personalizada para os grupos definidos anteriormente. Existem algumas técnicas para captura dos sinais obtidos na palmilha, a escolhida, segundo Efstathia (2006), tem por base a utilização de sensores sob a forma isolada, permitindo uma medição de pressão local, ou em grupo sob a forma de matriz. Esta medição tem como vantagens ser de fácil uso e possuir um custo de aquisição reduzido mesmo para uma frequência de amostragem elevada, devido ao número de sensores utilizado ser pequeno (*Sousa et al. 2006*).

Para tanto, deve ser elaborado um sistema de aquisição microcontrolado capaz de armazenar os dados lidos por sensores presentes em pontos importantes da palmilha. O transdutor utilizado será o FlexiForce, capaz de variar sua resistência à medida que lhe é aplicada uma força.

Cabe ressaltar que a utilização do látex para comportar esses sensores é justificada pela biocompatibilidade, que o torna seguro para a aplicação (Rodrigues 2008).

2. Objetivos

O objetivo desse projeto é o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo de palmilha para medida da distribuição de forças exercidas pela sola do pé sobre o chão, com aplicações em pacientes, principalmente crianças, que tenham quadro clínico de autismo.

Objetivos Gerais

Desenvolver e validar um método para fabricação do modelo do pé e da palmilha individualizada que comportará os sensores de pressão.

Avaliar o uso do FlexiForce junto à palmilha para coleta dos sinais de pressão plantar.

Coletar os sinais de pressão plantar de indivíduos autistas e não-autistas e comparar.

Objetivos Específicos

Utilizar o alginato e gesso odontológico (gesso rosa) para moldagem do pé e utilizar o látex para a confecção da palmilha.

Padronizar a construção do molde e da palmilha.

Entender o funcionamento e a ligação do sensor, além de utilizá-lo para coleta dos sinais de pressão plantar.

Realizar um estudo com grupo controle (autistas e não – autistas) para detectar as alterações na pisada de indivíduos autistas.

Propor possíveis soluções para os problemas oriundos das alterações na pisada.

3. Metodologia e Resultados Parciais

Conforme já apresentado nas seções anteriores do presente trabalho, o produto primordial para o sucesso do projeto é a palmilha de látex. Dessa forma, o primeiro passo é a construção da palmilha.

Para tal finalidade foram utilizados alginato, gesso odontológico (gesso rosa), um preparado de látex e uma estufa.

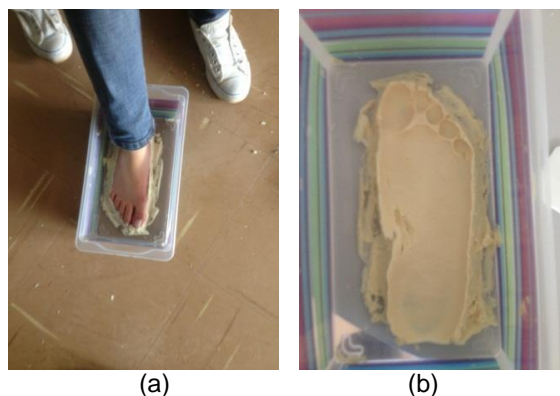
Inicialmente, o pé é moldado utilizando-se o alginato. O alginato é um pó muito utilizado na área odontológica para a moldagem da arcada dentária. A sua grande utilização se deve às suas propriedades intrínsecas, que facilitam o processo de moldagem. Dentre as vantagens da utilização do alginato, pode-se destacar:

- Rápida secagem
- Alta fidelidade na moldagem
- Fácil utilização e remoção

Quanto às desvantagens, são poucas e não se sobrepõem às vantagens. As desvantagens que se destacam são:

- Preço relativamente alto
- O molde geralmente só comporta uma utilização.

Para realizar a moldagem com o alginato, é necessário pegar uma determinada quantidade do pó e misturar com água, na proporção adequada, de forma que se obtenha uma massa pastosa e homogênea. Rapidamente, deve-se despejar essa mistura dentro de uma forma de plástico, de tamanho adequado, até que se crie uma camada relativamente espessa, de forma que, ao pisar, o paciente tenha seu pé reproduzido adequadamente. Mantém-se o pé do paciente dentro da mistura por cerca de 3 minutos, até que a massa tenha se secado e o molde fique pronto.



(a) (b)
 Figura 1 – Processo de moldagem do pé utilizando o alginato.
 (a) Processo de moldagem (b) molde pronto.

Com o molde pronto, passa-se para o processo de vazamento, ou seja, é despejado o gesso rosa dentro do molde de alginato, para que se tenha armazenado um molde duradouro do pé do paciente, possibilitando que sejam feitas diversas palmilhas para o mesmo paciente, caso necessário. O gesso é preparado, seguindo as orientações do fabricante e despejado dentro do molde de alginato e posto em repouso até que esteja completamente seco, o que leva cerca de 1 hora. Após o período de secagem do gesso, o molde pode ser removido e o alginato descartado. A Figura 2 apresenta o resultado. Nota-se que o gesso odontológico é extremamente fiel ao molde do alginato, o que é muito interessante para o objetivo proposto, pois gera um molde muito semelhante ao pé real.

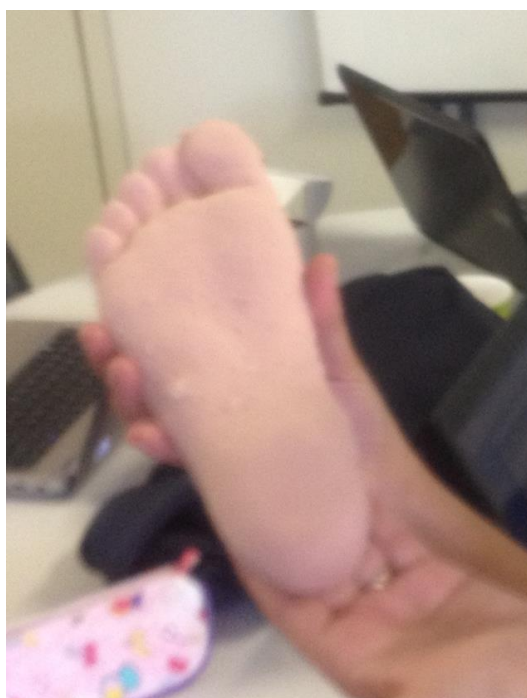


Figura 2 – Molde do pé com gesso odontológico

De posse do molde do pé feito com o gesso, é possível iniciar o processo de confecção da palmilha propriamente dita. Inicia-se então o processo de mergulho do molde no látex (banho) e secagem, com o auxílio da estufa. É necessário realizar uma quantidade considerável de ciclos banho-secagem para que se obtenha uma palmilha de boa qualidade.

Agora, com a palmilha pronta, passa-se a etapa de “embarque” do hardware na palmilha. O circuito microprocessado, contendo entre outros componentes, o sensor FlexiForce, é construído e acoplado à palmilha. Os dados são então colhidos e armazenados, passando por uma análise posterior por parte dos especialistas.

4. Próximas etapas

A próxima etapa da pesquisa exige a aquisição de medidas da pressão plantar das crianças autistas. O circuito de aquisição dos sinais está em processo de desenvolvimento, bem como a escrita e validação de um tutorial de construção da palmilha.

Por fim, a depender do andamento do projeto e da reação das crianças autistas ao processo, pretende-se ainda propor algumas soluções para possíveis problemas que sejam identificados e abrir portas para novas pesquisas na área, que carece muito de estudos.

A seguir, na Tabela 1, são listadas as principais atividades a serem realizadas para evolução do projeto.

Etapa 1 – Confecção e Testes do Circuito

Etapa 2 – Integração dos componentes

Etapa 3 – Preparativos do local para realização da intervenção

Etapa 4 – Confecção dos moldes

Etapa 5 – Coleta e análise dos dados obtidos

Etapa 6 – Escrita do relatório final e artigo para congresso internacional.

Etapa 7 – Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso.

Tabela 1. Cronograma de atividades

Meses				
	Abril	Maio	Junho	Julho
Atividades				
Avaliação do Projeto pela Instituição (Clínica Aprender)	X			
Submissão do Projeto ao CEP		X		

Elaboração e validação, em laboratório, de uma palmilha de testes.	X	X	X	
Avaliação e Seleção dos voluntários			X	
Coleta dos moldes dos pés dos voluntários.			X	
Confeção das palmilhas personalizadas.			X	
Coleta de dados com os voluntários.			X	
Avaliação dos Resultados			X	X
Escrita do relatório final		X	X	X
Divulgação (publicação e apresentação) dos resultados				X
Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso				X

5. Informações adicionais

5.1 Caracterização da Pesquisa, Local, Universo e Amostra

Esta pesquisa caracteriza-se como um quantitativo, experimental e descritivo. Tendo como local previsto para realização a Clínica Aprender, localizado na C01 Lote 1/12 - Salas 803/806 Ed. Trade Center - Taguatinga Sul. O estudo será composto por voluntários autistas clássicos e crianças normais, compondo um grupo de 20 voluntários.

5.2 Critérios de inclusão

- Clientes que aceitarem participar e assinarem o termo de consentimento livre e esclarecido;
- Clientes com capacidade para fornecer informações sobre os testes e colaborar com o projeto;
- O indivíduo que participará da pesquisa não deve apresentar problemas de saúde e serão submetidos à avaliação clínica;
- Não haverá distinção de grupo social, qualquer indivíduo de qualquer classe será aceito, desde que apresente as condições propostas nos critérios acima.

5.3 Critérios de exclusão:

- Não consentimento do paciente ou responsável pelo mesmo;
- Pacientes apresente independência funcional;
- Desconforto na utilização da palmilha.

5.4 Considerações Éticas e Período da Pesquisa

A pesquisa será iniciada após parecer do Comitê de Ética em pesquisa. Sendo assim, os voluntários selecionados por meio dos critérios de elegibilidade e favoráveis à pesquisa devem

assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Anexos), em duas vias, ficando uma de posse do participante voluntário e outra com o pesquisador, seguindo as recomendações da resolução 196/96 (BRASIL, 1996). Os pesquisadores envolvidos no presente estudo devem assinar o Termo de Compromisso dos Pesquisadores. (Anexos).

6. Planilha de Orçamento

Item	Discriminação	Custo (CR\$)
1	Material para produção – Látex e moldes	500,00
2	Material para produção - Sistema eletrônico	300,00
Total geral		800,00

7. Referências

Abboud, R. J., D. I. Rowley, and R. W. Newton. 2000. Lower limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients. *Clinical Biomechanics* 15 (1):37-45

Abboud, R. J. 2002. (i) Relevant foot biomechanics. *Current Orthopaedics* 16 (3):165-179.

Chiappin, Daniela. 2007. A importância da análise do apoio plantar em idosos: um estudo comparativo entre jovens e idosos., Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Efstathia, Santarmou. 2006. Biofeedback methods for motor rehabilitation, Patras.

Keijsers, N. L. W., N. M. Stolwijk, B. Nienhuis, and J. Duysens. 2009. A new method to normalize plantar pressure measurements for foot size and foot progression angle. *Journal of Biomechanics* 42 (1):87-90.

Mann RA, Hagy JL. "The function of the toes in walking, jogging and running". *Clin. Orthop* 1979; 142: 24-9.

Monteiro, Helga. Pé Plano e Pé Cavo 2008. Available from <http://fisiosaude-ce.blogspot.com/2008/09/p-plano-e-p-cavo.html>.

Monteiro, M., R. Gabriel, J. Aranha, M. Neves e Castro, M. Sousa, and M. Moreira. 2010. Influence of obesity and sarcopenic obesity on plantar pressure of postmenopausal women. *Clinical Biomechanics* 25 (5):461-467.

Orlin MN, Mcpoil TG. Plantar pressure assessment. *Phys Ther.* 2000; 80:399-409.

Putti, A., G. Arnold, L. Cochrane, and R. Abboud. 2008. Normal pressure values and repeatability of the Emed® ST4 system. *Gait & Posture* 27 (3):501-505.

Putti, A. B., G. P. Arnold, and R. J. Abboud. 2010. Foot pressure differences in men and women. *Foot and Ankle Surgery* 16 (1):21-24.

Ramanathan, A. K., P. Kiran, G. P. Arnold, W. Wang, and R. J. Abboud. 2010. Repeatability of the Pedar-X® in-shoe pressure measuring system. *Foot and Ankle Surgery* 16 (2):70-73.

Santos, João Otacilio Libardoni dos. 2008. Aspectos cinemáticos e cinéticos do movimento de eversão do calcanhar durante a marcha, Ciências do departamento humano, Universidade de Estado de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil.

Sousa, Daniela Sofia S., and João Manuel R. S. Tavares. 2006. Estudo de Soluções Comerciais para Análise Clínica da Pressão Plantar Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Teh, E., L. Teng, R. Acharyau, T. Ha, E. Goh, and L. Min. 2006. Static and frequency domain analysis of plantar pressure distribution in obese and non-obese subjects. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 10 (2):127-133.

Mrué F. (1996). Substituição do Esôfago Cervical por Prótese Biossintética de látex: estudo experimental em cães, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 114p.

Rodrigues S. S. (2008). Desenvolvimento de um sistema para controle de fluxo esofagiano para tratamento da obesidade, Tese de Doutorado, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 106p.

Borges L. B. et al (2008). Feridas: como tratar. 2º Edição. CoopeMed Editora Médica, Belo Horizonte.

ANEXOS

ANEXO I

Anamnese

Identificação: _____ Data: __/__/__

A - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

1. Nome: _____

2. Idade: _____

3. Sexo: _____

4. Fone: _____ 5. Celular: _____

6. e-mail: _____

7. Peso: _____ 8. Estatura: _____ 9. IMC: _____



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO-TCLE

Pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido eu, _____, em pleno exercício dos meus direitos, autorizo meu filho(a) _____, de _____ anos de idade, a participar da Pesquisa “Implementação e Avaliação de uma Palmilha de Látex com Sistema de Sensores para Investigação da Distribuição de Pressão Plantar em Indivíduos”. Declaro estar esclarecido(a) e de acordo com os seguintes pontos:

- O objetivo desse projeto é o desenvolvimento e a avaliação de um protótipo de palmilha para medida da distribuição de forças exercidas pela sola do pé sobre o chão, com aplicações em pacientes, principalmente crianças, que tenham quadro clínico de autismo.
- Portanto, aos pais do voluntário só caberá a autorização e acompanhamento da coleta de dados no paciente. De posse da autorização dos pais, o voluntário irá participar de uma dinâmica que permita a coleta de dados referentes às pressões plantares. A coleta de dados se dará em duas etapas, sendo a primeira destinada à obtenção de um molde para confecção de uma palmilha personalizada e a segunda para medida dos dados de pressão plantar propriamente ditos. Vale salientar que a coleta não trará nenhum prejuízo físico à integridade física da criança já que envolverá apenas o uso de uma palmilha flexível. Também não afetará o tratamento realizado na clínica.
- Os pesquisadores envolvidos são responsáveis pelo desenvolvimento da pesquisa de forma confidencial, revelando os resultados ao médico, indivíduo e/ou familiares, cumprindo às exigências da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde.
- O voluntário poderá se recusar a participar, ou retirar seu consentimento a qualquer momento da realização do trabalho ora proposto, não havendo qualquer penalização ou prejuízo para o mesmo.
- Será garantido o sigilo dos resultados obtidos neste trabalho, assegurando assim a privacidade dos participantes.
- Não haverá qualquer despesa ou ônus financeiro aos participantes voluntários deste projeto científico e não haverá qualquer procedimento que possa incorrer em danos físicos ou financeiros ao voluntário e, portanto, não haveria necessidade de indenização por parte da equipe científica e/ou da Instituição responsável.
- Em caso de qualquer dúvida ou solicitação de esclarecimentos, o participante poderá entrar em contato com equipe científica, formado pelo pesquisador Guilherme Caetano Peron, cujo telefone é (61) 9228-3841, pela pesquisadora Mileny Ximenes Oliveira, cujo telefone é (61) 8142-9323, pelo Prof. Dr. Cristiano Jacques Miosso, coorientador da pesquisa, cujo telefone é (61) 8177-9105 e pela Prof. Dr^a Suélia Rodrigues, orientadora da pesquisa, cujo email é rodrigues.suelia@gmail.com. Poderá ainda

entrar em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade de Brasília através do telefone (61) 3107-1947.

- Ao final da pesquisa, se for do meu interesse, terei livre acesso ao conteúdo da mesma, podendo discutir os dados com os pesquisadores. Vale salientar que este documento está impresso em duas vias e uma delas ficará em minha posse.

Desta forma, uma vez tendo lido e entendido tais esclarecimentos e, por estar de pleno acordo com o teor do mesmo, dato e assino este termo de consentimento livre e esclarecido.

Brasília _____ de _____ de 2013

Assinatura do responsável pelo participante da pesquisa

Guilherme Caetano Peron
Pesquisador responsável

Mileny Ximenes Oliveira
Pesquisadora responsável

Prof. Dr Cristiano Jacques Miosso
Coorientador da Pesquisa

Prof. Dr^a Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa
Orientadora da Pesquisa